

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Estudio de factibilidad técnico-económico de una planta de
producción de ácido láctico a partir de la cáscara de la mazorca
de cacao.**

Saiwa Lisbeth Quilumbaquí Muenala

Ingeniería química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería química

Quito, 20 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de factibilidad técnico-económico de una planta de
producción de ácido láctico a partir de la cáscara de la mazorca
de cacao.**

Saiwa Lisbeth Quilumbaquí Muenala

Nombre del profesor, Título académico

José Álvarez, Ph.D.

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, Ph.D.

Quito, 20 de diciembre de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Saiwa Lisbeth Quilumbaquí Muenala

Código: 00137249

Cédula de identidad: 1004655781

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó una planta de producción de ácido láctico utilizando como materia prima la cáscara de la mazorca de cacao producida en la provincia de Guayas, Ecuador, transformando esta biomasa en un producto de alto valor. El caudal de producción de la planta es de 30 toneladas de ácido láctico por año, con lo cual se suplirá alrededor del 50% de la demanda de este producto en el país. Para conseguir este nivel de producción, se requerirá de 402,3 toneladas de materia prima al año, la cual pasará por operaciones de preparación y pretratamiento, fermentación y finalmente, purificación. Los balances de masa y energía realizados fueron la base para la selección y dimensionamiento de equipos; mientras que el análisis económico permitió conocer la factibilidad del proyecto. Así, la inversión inicial que requerirá la planta es de USD 501.541 y será recuperado en un tiempo máximo de 2,74 años, lo que indica que es rentable. Finalmente, la implementación de la planta no sólo ayudará a reducir la cantidad de importaciones de ácido láctico, sino que también beneficiará a los agricultores de cacao, los cuales recibirán un aporte económico por residuos que actualmente no tienen valor comercial.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, biomasa lignocelulósica, fermentación ácido láctica, pretratamiento alcalino, inóculo, hidrólisis enzimática.

ABSTRACT

In this project, a lactic acid production plant was designed using as raw material the cocoa pod husk produced in the province of Guayas, Ecuador, transforming this biomass into a high value product. The plant is designed to produce 30 tons of lactic acid per year, which will supply around 50% of the demand for this product in the country. To achieve this level of production, 402,2 tons of raw material will be required per year, which will go through operations of preparation and pre-treatment, fermentation and finally, purification. Based on mass and energy balances the selection and sizing of equipment was carried out; while the economic analysis allowed to know the feasibility of the project. Thus, the initial investment that the plant will require is USD 501.541 and it will be recovered in a maximum time of 2,74 years, which indicates that it is profitable. Finally, the implementation of the plant will not only help reduce the amount of lactic acid imports, but will also benefit cocoa farmers, who will receive an economic contribution for residues that currently have no commercial value.

Keywords: *Theobroma cacao*, lignocellulosic biomass, lactic acid fermentation, alkaline pretreatment, inoculum, enzymatic hydrolysis.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Antecedentes	15
1.1.1. Características y aplicaciones del ácido láctico	15
1.1.2. Métodos de producción de ácido láctico.....	16
1.1.3. Producción de ácido láctico mediante fermentación	17
1.1.4. Producción de cacao y gestión de sus desechos en Ecuador	18
1.2. Presentación del proyecto	19
1.3. Objetivos del proyecto	19
1.4. Justificación	19
1.5. Resultados esperados	21
2. BASES DE DISEÑO	22
2.1. Descripción del producto	22
2.2. Descripción de materias primas	22
2.2.1. Cáscara de la mazorca del cacao.....	22
2.2.2. Materias primas para el pretratamiento, detoxificación e hidrólisis.....	23
2.2.3. Materias primas para el medio de inóculo, fermentación y purificación del ácido láctico.....	23
2.3. Selección de proceso.....	24
2.3.1. Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica.....	24
2.3.2. Eliminación de inhibidores e hidrólisis.....	25
2.3.3. Fermentación, métodos de separación y purificación del ácido láctico.....	26

2.4.Limitaciones y normas	28
2.5.Ubicación	29
2.6.Terminología especializada	29
3. BASES DE DISEÑO	31
3.1.Determinación del caudal de producción de ácido láctico.....	31
3.2.Modos de operación	31
3.3.Balance de masa.....	34
3.4.Balance de energía	34
4. DISEÑO DE LA PLANTA	36
4.1.Selección de equipos.....	36
4.1.1. Equipo para la preparación y pretratamiento de materia prima.....	36
4.1.2. Biorreactor inóculo y de fermentación	36
4.1.3. Equipo para la purificación de ácido láctico.....	37
4.1.4. Tipos de bombas y transportadores.....	37
4.2.Diseño y dimensionamiento de equipos	38
5. ANÁLISIS ECONÓMICO	39
5.1.Estimación de costos de la planta	39
5.2.Estimación de ingresos de la planta	40
5.3.Análisis de la recuperación de la inversión y rentabilidad del proyecto.....	41
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

8. ANEXOS	52
8.1.Anexo A: Metodología	52
8.1.1. Objetivo específico 1	52
8.1.2. Objetivo específico 2	53
8.1.3. Objetivo específico 3	60
8.2.Anexo B: Marco Legal.....	64
8.3.Anexo C: Cálculos y Resultados.....	64
8.3.1. Pérdidas de masa consideradas en ciertos equipos	64
8.3.2. Balance de masa.....	65
8.3.3. Dimensionamiento de equipos.....	66
8.4.Anexo D: Cotizaciones	74
8.4.1. Tanque para almacenamiento, pretratamiento alcalino y precipitación.....	74
8.4.2. Balsa de Lavado	74
8.4.3. Trituradora	75
8.4.4. Molino de Bolas.....	76
8.4.5. Horno secador	77
8.4.6. Columna de extracción líquido líquido.....	78
8.4.7. Tanque Mezclador	78
8.4.8. Centrifugadora	79
8.4.9. Evaporador.....	80
8.4.10. Filtros de prensa.....	80

8.4.11. Cintas transportadoras.....	81
8.4.12. Bombas centrífugas.....	82
8.4.13. Tornillo sin fin	82
8.4.14. Caldera	83
8.5.Anexo E: Cálculos del análisis económico.....	83
8.6.Anexo F: Fichas de seguridad de las materias primas	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis económico rápido para producir de 1 kg de ácido láctico	20
Tabla 2. Materias primas para la producción de ácido láctico.....	23
Tabla 3. Matriz de decisión para el pretratamiento.....	25
Tabla 4. Matriz de decisión para la hidrólisis	26
Tabla 5. Simbología usada para los equipos en el diagrama de flujo	32
Tabla 6. Balance de masa del proceso	34
Tabla 7. Balance y consumo de energía de los equipos por semana	34
Tabla 8. Especificaciones de equipos que intervienen en el proceso de producción.....	38
Tabla 9. Resumen de las aproximaciones usadas para encontrar el costo ISBL	39
Tabla 10. Resultados del capital fijo, costos de producción y capital de trabajo	40
Tabla 11. Resumen de ingresos obtenidos por la venta del producto	41
Tabla 12. Resumen de análisis de recuperación de inversión.....	41

ÍNDICE DE TABLAS EN ANEXOS

Tabla A-1. Pérdidas de masa consideradas en el balance de masa	63
Tabla A-2. Balance de masa para un ciclo de producción.....	64
Tabla A-3. Dimensionamiento de TK-01	65
Tabla A-4. Dimensionamiento del Horno secador	66
Tabla A-5. Dimensionamiento de TK-02	67
Tabla A-6. Dimensionamiento de TK-03	67
Tabla A-7. Dimensionamiento de M-01	68
Tabla A-8. Dimensionamiento de BR-01	69

Tabla A-9. Dimensionamiento de BR-02	70
Tabla A-10. Dimensionamiento de TK-04	70
Tabla A-11. Dimensionamiento de M-02	71
Tabla A-12. Dimensionamiento de TK-05	72
Tabla A-13. Costos teóricos de los equipos.....	82
Tabla A-14. Cálculo del costo ISBL con el método de Lang	84
Tabla A-15. Cálculo del costo ISBL con el método de Hand.....	85
Tabla A-16. Cálculo del costo ISBL con el Método Factorial Detallado	86
Tabla A-17. Cálculo de la inversión de capital fijo	87
Tabla A-18. Costos de producción variables	87
Tabla A-19. Costos de producción fijos	87
Tabla A-20. Capital de trabajo.....	88
Tabla A-21. Cálculo del flujo de caja	88
Tabla A-22. Análisis de rentabilidad del proyecto	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque del proceso	27
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso	33

ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura A-1. Valores de N_p vs Número de Reynolds	58
Figura A-2. Patente de la producción de ácido láctico	64
Figura A-3. Especificaciones para un tanque	74
Figura A-4. Especificaciones para una balsa de lavado.....	74
Figura A-5. Especificaciones para una trituradora	75
Figura A-6. Especificaciones para un molino de bolas.....	76
Figura A-7. Especificaciones para un horno secador.....	77
Figura A-8. Especificaciones para una columna de extracción L-L.....	78
Figura A-9. Especificaciones para un tanque mezclador.....	78
Figura A-10. Especificaciones para una centrifugadora	79
Figura A-11. Especificaciones para un evaporador	80
Figura A-12. Especificaciones para un filtro de prensa.....	80
Figura A-13. Especificaciones para una cinta transportadora	81
Figura A-14. Especificaciones para una bomba centrífuga	82
Figura A-15. Especificaciones para un tornillo sin fin	82
Figura A-16. Especificaciones para una caldera.....	83
Figura A-17. Ficha de seguridad del Hidróxido de Sodio	90
Figura A-18. Ficha de seguridad de la Celulasa	91

Figura A-19. Ficha de seguridad del 1-Butanol.....	91
Figura A-20. Ficha de seguridad del Citrato de Sodio.....	92
Figura A-21. Ficha de seguridad del <i>Rhizopus oryzae</i>	93
Figura A-22. Ficha de seguridad del Carbonato de Calcio.....	93
Figura A-23. Ficha de seguridad del Ácido Sulfúrico	94
Figura A-24. Ficha de seguridad del Carbón Activado	94
Figura A-25. Ficha de seguridad del Sulfato de Amonio	95
Figura A-26. Ficha de seguridad del Sulfato de Magnesio heptahidratado.....	95
Figura A-27. Ficha de seguridad del Sulfato de Zinc heptahidratado	95
Figura A-28. Ficha de seguridad del Fosfato Monopotásico.....	96

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Características y aplicaciones del ácido láctico

El ácido láctico (ácido 2-hidroxipropiónico) es un compuesto orgánico, autorizado por la U.S. Food and Drug Administration como GRAS (generally regarded as safe) y es uno de los productos químicos a gran escala que se produce mayormente mediante fermentación (1,2). En cuanto a su estructura molecular, contiene un ácido carboxílico terminal y un grupo hidroxilo en la posición 2, siendo esta orientación la que permite dos isómeros ópticos: L-(+) o ácido láctico S y D-(-) o ácido láctico R (3). En el cuerpo humano sólo se produce ácido láctico L-(+), por lo cual este es preferido en aplicaciones alimenticias y farmacéuticas, ya que su conversión metabólica es más rápida en comparación al D-(-) (4).

El ácido láctico es altamente valorado, debido a que posee varias aplicaciones en diferentes sectores industriales como cosmética, farmacéutica, alimenticia y química. En la industria cosmética está presente en algunos cosméticos gracias a sus propiedades hidratantes, iluminadoras, aclarantes, exfoliantes y antienvjecimiento. En la industria farmacéutica es usado como solución de diálisis, preparaciones minerales, comprimidos, prótesis, suturas quirúrgicas, sistema de administración controlada de fármacos, inmunoestimulante y fabricación de productos de higiene. Más de la mitad de la producción mundial de ácido láctico se destina a la industria alimenticia, donde es empleado como: acidulante, conservante, aromatizante, emulsionante, agente de fermentación y regulador del pH de productos como dulces, lácteos, bebidas, bakery products, entre otros. Finalmente, también tiene una amplia presencia en la industria química, en donde es utilizado como componente en algunos productos de higiene personal, desinfectantes, agentes de limpieza; materia prima para la generación de otros productos químicos como

acetaldehído, ácido acrílico, óxido de propileno, acetaldehído de ácido propanoico, alternativas ecológicas a plásticos sintéticos como el ácido poli láctico, entre otros (1,5).

1.1.2. Métodos de producción de ácido láctico

El ácido láctico puede ser obtenido por medio de dos rutas: la síntesis química y la producción biotecnológica. En el primer caso, se da una serie de reacciones usando recursos petroquímicos y el segundo caso implica la fermentación del ácido láctico a partir de una fuente de carbohidratos.

La síntesis química empieza con la reacción entre el acetaldehído (CH_3CHO) con ácido cianhídrico (HCN) y un catalizador para producir lactonitrilo (CH_3OHCN). Posteriormente, este producto es hidrolizado por ácido sulfúrico (H_2SO_4) y se obtiene una mezcla racémica de ácido láctico D-(-) y L-(+) (6). Debido a que los isómeros puros tienen un mayor valor comercial que mezclas racémicas, el producto requiere de un proceso de separación que incrementa el costo de producción en este método. Adicionalmente, otras limitantes son la dificultad de controlar las propiedades fisicoquímicas del producto final y que el ácido láctico D-(-) no puede ser usado ampliamente en industrias específicas en donde solo se desea uno de los isómeros (5,6).

Por otro lado, la producción biotecnológica es actualmente el principal método de obtención de ácido láctico. Esto se debe a ciertas ventajas frente a la síntesis química, como la capacidad de producción de un solo isómero ópticamente puro, dependiendo del microorganismo usado en la fermentación. Además, se pueden utilizar sustratos (fuente de carbohidratos) económicos con bajo consumo de energía y temperatura, mejorando los métodos de producción (6). Por último, el rendimiento de la fermentación depende principalmente de la cepa y técnica empleada, siendo la fermentación tipo batch la más aplicada actualmente para obtener este ácido (6).

1.1.3. Producción de ácido láctico mediante fermentación

En la fermentación microbiana, los azúcares se transforman en energía celular y lactato a través de un proceso biológico y posteriormente pasarán por operaciones de purificación del producto. El ácido láctico puede ser producido por varios microorganismos, tales como bacterias, hongos, levaduras, algas y cianobacterias. La selección de los mismos tiene gran relevancia, puesto que de ello dependerán aspectos nutricionales, capacidad de secretar ácido láctico de alta pureza óptica y la obtención de altos rendimientos (7). Así, las principales cepas para la producción industrial de ácido láctico D-(-) y L-(+) son *Lactobacillus* y *Rhizopus oryzae*, siendo esta última la ideal para producir el isómero L-(+) (8).

Otro aspecto importante en la producción de ácido láctico es el sustrato usado, debido a que equivale el 30 – 40% del costo total del proceso (9). Generalmente, las fuentes de carbono (sustratos) más usadas son azúcares refinadas (glucosa, sacarosa y lactosa) y materias primas con almidón, no obstante, presentan ciertas desventajas (5,7). El principal inconveniente es que, para una producción a gran escala, el precio de la materia prima es económicamente desfavorable. Mientras que, para el caso de las fuentes de carbohidratos con almidón, estos compiten con cultivos alimentarios, por lo cual, no son sostenibles (5).

Es así que varios estudios se han realizado para determinar la factibilidad de diferentes fuentes de carbono como la melaza de caña de azúcar, lechada de papel, celulosa, bagazo de yuca, paja de trigo, rastrojo de maíz, entre otros desechos y subproductos agrícolas e industriales, representando alternativas mucho más económicas (6,9). Adicionalmente, estas materias primas son abundantes y renovables, lo que garantizaría la disponibilidad de ácido láctico durante todo el año (5). Dentro de esta categoría, los residuos industriales más usados como sustratos están la melaza y el suero, ya que

contienen cantidades considerables de azúcares (sacarosa y lactosa, respectivamente) que pueden ser aprovechados en la fermentación (10).

1.1.4. Producción de cacao y gestión de sus desechos en Ecuador

En el Ecuador, los cultivos de mayor producción son la caña de azúcar, el banano, la palma africana y el cacao (*Theobroma cacao*). Enfocándose específicamente en el último producto, el país es uno de los principales productores y exportadores de este fruto a nivel mundial, con una cantidad exportada de 315 571 toneladas métricas en el 2018 (11). En 2019, la superficie plantada de cacao a nivel nacional fue de 601 954 hectáreas, siendo Manabí, Guayas (mayor productor) y Los Ríos las provincias con mayor área cultivada, con un incremento del 3.6% en el 2020 (12,13). Así, la producción obtenida en este mismo año fue de aproximadamente 328 mil toneladas y para el caso de la almendra seca, fue de 283 680 toneladas métricas (12).

Dado este gran nivel producción, su generación de desechos también es importante, causando más de dos millones de toneladas de residuos al año. La cáscara de la mazorca del cacao (CPH, Cocoa Pod Husk) es el principal subproducto de este sector agrícola, ya que representa del 70% al 80% en peso seco del fruto y se genera quince toneladas de desechos húmedos de CPH por cada tonelada de granos de cacao secos (14–16). De esta manera, gestionar esta gran cantidad de desperdicios es un gran desafío, puesto que los usos que se le da actualmente a esta cáscara tienen efectos adversos.

Una de las aplicaciones de este residuo es como fertilizante orgánico, puesto que puede agregar material orgánico al suelo, no obstante, la descomposición de estos residuos también puede actuar como fuente potencial de microorganismos y patógenos (como la enfermedad de la mazorca negra). Esto compromete la calidad del cultivo y la salud de la próxima cosecha, provocando pérdidas de rendimiento anuales de incluso el 30% - 90% en

los cultivos (17,18). Otro uso de bajo valor que se le da a la CPH es como alimento para animales, pero este residuo contiene teobromina, una sustancia dañina para la nutrición de los animales, además reduce la digestibilidad y aumenta la viscosidad intestinal en algunos animales (16,17). Es por esto que se busca aplicaciones potenciales para este desecho, siendo la producción de ácido láctico una posible aplicación de alto valor.

1.2. Presentación del proyecto

1.2.1. Objetivos del proyecto

El planteamiento del objetivo general es realizado es base a las oportunidades presentadas en la sección 1.1., con lo cual se espera:

Estudiar la factibilidad técnica y económica de una planta de producción de ácido láctico a partir de la cáscara de mazorca de cacao para brindar una aplicación potencial a este subproducto y abastecer parte de la demanda nacional de este producto.

Para lograr cumplir este objetivo también se plantean tres objetivos específicos:

1. Determinar el mejor proceso para la producción de ácido láctico mediante el uso de una materia prima novedosa como es la cáscara de mazorca de cacao.
2. Realizar la selección y dimensionamiento de los equipos requeridos para este proceso
3. Analizar la factibilidad económica de la planta de producción, diseñada para suplir alrededor del 50% de la demanda nacional de ácido láctico.

1.2.2. Justificación del proyecto

La gran relevancia industrial del ácido láctico gracias a sus diversas aplicaciones hace de este compuesto un objeto de interés a nivel comercial tanto nacional como internacionalmente. Este producto tiene un mercado mundial creciente (16,2% de crecimiento anual) y se espera que la producción crezca de 1220.0 kilotonnes fabricados en 2016 a 1960.1 kilotonnes para el año 2025 (1). También, estudios indican que el mayor

crecimiento será en las regiones de Asia Pacífico y América Latina (1). Actualmente en el país no existe una producción de ácido láctico, por lo cual implementar una planta de este tipo crearía una oportunidad de mercado nuevo, reduciendo en gran cantidad el nivel de importaciones de este producto.

Por otro lado, gracias a la importante reducción de costos que representa el uso de diferentes residuos y desechos agrícolas e industriales como sustratos en la producción de ácido láctico, usar la cáscara de la mazorca del cacao con este objetivo plantea varios beneficios. La principal ventaja es que es una materia prima muy económica, puesto que, al no contar con aplicaciones relevantes, es usado por los mismos agricultores y no es comercializada. De esta manera, al adquirir este residuo se brindaría también un aporte económico para los productores de cacao. Adicionalmente, es muy abundante y al ser utilizada para producir ácido láctico se le brindaría una mejor gestión para estos desechos que pueden resultar problemáticos. Y finalmente, se estaría aprovechando los componentes de esta biomasa lignocelulósica (que actualmente no se lo hace), principalmente la celulosa.

Tabla 1. Análisis económico rápido para producir 1kg de ácido láctico

Materia Prima	Cantidad [kg]	Costo (USD)
Cáscara de cacao	13,5	0,07
Hidróxido de Sodio	0,5	0,16
Celulasa industrial	0,0006	0,001
Butanol	1,07	0,58
Citrato de sodio	1,21	0,85
Microorganismo (<i>R. oryzae</i>)	0,0082	0,03
Carbonato de Calcio	0,79	0,11
Ácido sulfúrico	0,52	0,09
Carbón activado	0,234	0,13
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,035	0,004
MgSO ₄ (7H ₂ O)	0,004	0,00028
ZnSO ₄	0,0007	0,00039
KH ₂ PO ₄	0,0035	0,004

TOTAL	\$2,04
--------------	---------------

Finalmente, la Tabla 1 indica que el costo de producción tomando en cuenta únicamente materias primas es de \$2,04/kg de ácido láctico. Si bien este precio no es el final con el cual se comercializará, se encuentra dentro del rango de venta de ácido láctico en el mercado que puede llegar a valores como \$25/kg. Esto es un factor positivo, ya que indica que habrá buen un margen de ganancia con la venta de este producto.

1.2.3. Resultados esperados

Una de las principales expectativas al implementar este proyecto sería disminuir la cantidad de importaciones de ácido láctico en el país. Dado que en el año 2019 se importó una cantidad de aproximadamente 65 toneladas de ácido láctico, se espera suplir la demanda nacional de ácido láctico en un alrededor del 50% (19). Además, el hecho de crear un mercado nuevo en el país e implementar una planta industrial generará nuevas fuentes de empleo y consecuentemente también aportará a la economía nacional. Varias industrias, especialmente las que son consumidoras de ácido láctico, se verán beneficiadas, ya que tendrán un acceso más fácil a este producto. Sumado a esto, el sector cacaotero también se vería bastante beneficiado, ya que también podrían darse fuentes de empleo en las zonas donde se cultiva cacao, fomentando la economía local. Finalmente, también se podría pensar en incrementar la producción a futuro para tratar de suplir por completo la demanda nacional e incluso poder llegar a exportar este producto a países vecinos.

2. BASES DE DISEÑO

2.1. Descripción del producto

El producto que se desea obtener en este proyecto es ácido láctico L-(+) en estado sólido y con una pureza del 88%. Una vez finalizado el proceso de producción, el ácido láctico obtenido se almacenará en tanques de polietileno para su posterior empaquetado. La presentación para su comercialización será en bolsas plásticas de 1 kg y su transporte y almacenamiento se realizará a temperatura ambiente.

2.2. Descripción de materias primas

2.2.1. Cáscara de la mazorca del cacao

La materia prima principal para este proceso será la cáscara de la mazorca del cacao y podrá ser adquirida principalmente de los productores de cacao de la provincia de Guayas. Además, su disponibilidad es amplia debido a que actualmente no cuenta con aplicaciones relevantes y, al ser un desecho, no tiene un valor en el mercado. Es por esto que un costo aproximado sería de \$5/tonelada, lo que la hace una materia prima muy económica.

La cáscara de la mazorca del cacao está compuesta principalmente por materiales fibrosos como la celulosa, hemicelulosa y la lignina en un porcentaje de 19.7% - 26.1%, 8.7% - 12.8% y 14% - 30%, respectivamente (15,17). En este caso, la celulosa de esta biomasa es el compuesto de interés para producir ácido láctico, mientras que el resto (hemicelulosa y lignina) serán removidos durante el pretratamiento. Así, el producto final obtenido estará constituido en un 88% de esta materia prima y un 12% de lactato de calcio. Finalmente, el almacenamiento de CPH se realizará en tanques de acero inoxidable a temperatura ambiente y protegidos de la humedad.

2.2.2. Materias primas para el pretratamiento, detoxificación e hidrólisis.

El hidróxido de sodio (NaOH) es una de las sustancias más comunes usadas para el pretratamiento alcalino de biomasa lignocelulósica, por lo cual será empleado en esta operación con una concentración de 3 %w/w. Mientras que, el 1-butanol será utilizado como solvente en el proceso de detoxificación o eliminación de inhibidores. Por otro lado, la celulasa y el citrato de sodio (0.05 M) serán útiles en la hidrólisis enzimática.

2.2.3. Materias primas para medio de inóculo, fermentación y purificación de ácido láctico

El microorganismo que se usará en este proceso es el *Rhizopus oryzae*, ya que es la cepa ideal para producir ácido láctico L-(+) y es una de las más usadas a escala industrial (8). Mientras que para el medio de fermentación e inóculo se requerirán algunos micronutrientes como: KH_2PO_4 (fosfato mono potásico), $\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ (sulfato de magnesio heptahidratado), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ (sulfato de zinc heptahidratado) y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (sulfato de amonio) (20–23). Sumado a esto, se necesita de una fuente de azúcar (proveniente de la CPH) y CaCO_3 (carbonato de calcio) que servirá como neutralizador para mantener un rango de pH de 5-6 en el biorreactor.

Una vez culminada la fermentación, se acidifica el caldo obtenido con H_2SO_4 (ácido sulfúrico), consiguiendo ácido láctico y sulfato de calcio (24). Finalmente, el carbón activado es usado para el proceso de bleaching y ayudará a eliminar todas las impurezas del producto (24).

Tabla 2. Materias primas para la producción de ácido láctico

Materia prima	Costo de adquisición \$/kg	Costo por año	Cantidad utilizada por año	Principales proveedores
----------------------	---------------------------------------	----------------------	-----------------------------------	--------------------------------

Cáscara de mazorca de cacao	0,322	2011,40	402280	Productores de cacao la provincia de Guayas
Hidróxido de Sodio	1,4	4814,45	14952	Tiandeli Co., Ltd.
Celulasa industrial	0,546	28,294	20,21	Anhui Guotai Chemical Co., Ltd.
1-Butanol	0,7	17379,18	31830	Trade Avenue LLC
Citrato de sodio	0,56	25312,49	36161	Anhui Suntran Chemical Co., Ltd.
<i>R. oryzae</i>	4,2		96,65	Weifang Yuexiang Chemical Co., Ltd.
Carbonato de calcio	0,14	405,93	23662	Lingshou Erping Mineral Products Processing Co., Ltd.
Ácido sulfúrico	0,182	3312,74	15592	Alkhebra Technology Company
Carbón activado	0,56	2837,74	6969,8	Kunshan Kronez Environmental Protection Technology Co., Ltd.
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,112	3903,10	1041,2	Henan Haoyuhang Economic&Trade Co., Ltd.
MgSO ₄ (7H ₂ O)	0,07	116,609	130,14	Anqing Haida Chemical Co., Ltd.
ZnSO ₄ (7H ₂ O)	0,56	9,1098	20,82	Jinzhou City Jinchangsheng Chemical Co., Limited
KH ₂ PO ₄	1,12	11,6592	104,12	Haihang Industry Co.,Ltd.

2.3. Selección de procesos

El proceso de producción para este proyecto puede ser dividido en 4 secciones principales: preparación de la materia prima, pretratamiento para la fermentación, fermentación y purificación. Cada etapa cuenta con operaciones unitarias que irán transformando la materia prima progresivamente hasta obtener el producto deseado.

2.3.1. Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica

La cáscara de mazorca de cacao es un material (biomasa) lignocelulósico y puede ser convertido en azúcares mediante sacarificación enzimática, no obstante, la dificultad de acceder a la celulosa conduce a problemas en este proceso de conversión. Es por esta razón que se requiere de un pretratamiento que rompa la estructura de la lignina, elimine

hemicelulosa, reduzca la cristalinidad de la celulosa y aumente la superficie accesible para permitir la acción de enzimas y microorganismos (25). Existen varias técnicas, siendo los pretratamientos químicos los más usados. Así, la Tabla 3 es una matriz de decisión en la que se califica de 1 (menos favorable) a 5 (más favorable) tres tipos de pretratamiento químico, siendo el más adecuado el que tenga un mayor puntaje.

Durante esta operación se producirán algunos compuestos inhibidores que tienen efectos negativos sobre la actividad microbiana en la hidrólisis, siendo el ácido acético, hidroxiácidos, ácidos dicarboxílicos y los compuestos fenólicos los más comunes para el pretratamiento alcalino (26).

Tabla 3. Matriz de decisión para el pretratamiento

	Tipo de pretratamiento químico		
	Ácido	Alcalino	Ácido-base
Rendimiento	4	3,5	5
Costo	3	4	2
Duración	5	5	3
Otras condiciones de operación	4	5	4
Disponibilidad de reactivos	3	3	2
Formación de inhibidores	2	3	4
Sustancias tóxicas	2	5	2
TOTAL	23,00	28,50	22,00

2.3.2. Eliminación de inhibidores e hidrólisis

Debido a la formación de inhibidores en el pretratamiento, es necesaria una operación para eliminarlos o reducir su concentración y así asegurar rendimientos favorables en los procedimientos posteriores. Una de las formas más poderosas de contrarrestar los problemas de inhibición es mediante “detoxification” e incluye técnicas como tratamiento enzimático, calentamiento y vaporización, extracción líquido – líquido y extracción sólido – líquido (26). En este proyecto, se escogió la extracción líquido – líquido

debido a su capacidad de remoción de compuestos tóxicos sin pérdidas de carbohidratos, costos menores en comparación a otros métodos y posibilidad de reciclaje de solvente (27).

Posterior a esto, es posible continuar con la sacarificación en donde los polisacáridos se degradan en azúcares fermentables, es decir, se rompen las moléculas grandes de carbohidratos en moléculas de glucosa más cortas. En este caso, las técnicas analizadas son la hidrólisis ácida y enzimática, siendo la última la más prometedora para la sacarificación de la biomasa.

Tabla 4. Matriz de decisión para la hidrólisis

	Tipo de hidrólisis	
	Ácida	Enzimática
Rendimiento	5	5
Costo	3	5
Duración	5	2
Otras condiciones	3	5
Generación de sustancias tóxicas	3	5
TOTAL	19	22

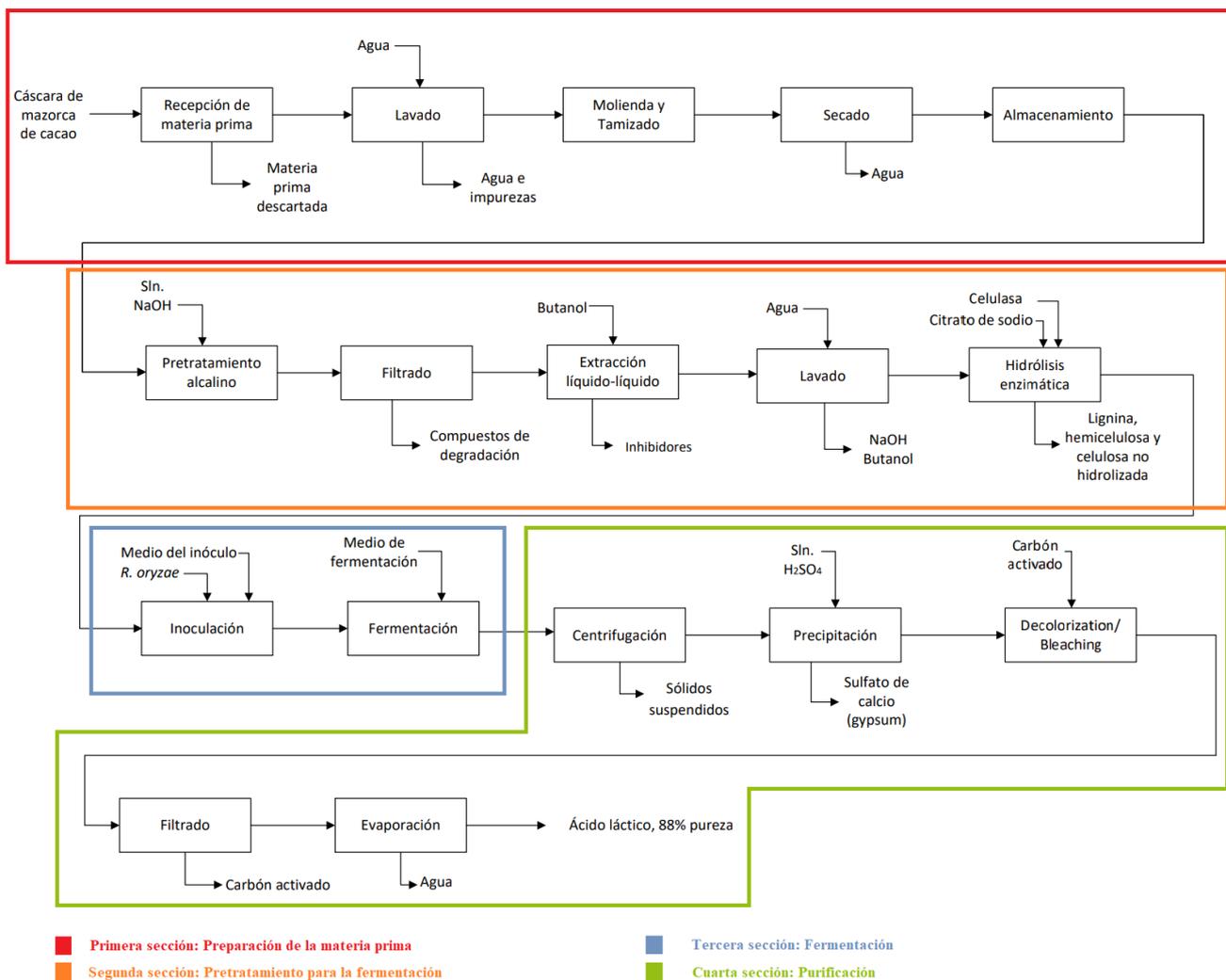
2.3.3. Fermentación, métodos de separación y purificación del ácido láctico

Una vez que se obtienen azúcares más simples, es posible llevar a cabo la fermentación a una temperatura de 30°C, una tasa de aireación de 0.5 vvm, velocidad de agitación de 300 rpm durante un tiempo de 60 horas (23). Previo a la fermentación, también se lleva a cabo la inoculación del microorganismo, *Rhizopus oryzae*, para que este se desarrolle hasta obtener una concentración de 10^6 o 10^7 esporas/mL y luego ser llevado al biorreactor de fermentación para producir ácido láctico (23). El caldo de fermentación obtenido estará compuesto principalmente por lactato de calcio (originado por la reacción entre el ácido láctico y CaCO_3), azúcares residuales, biomasa, entre otros compuestos (24).

Posteriormente, se realiza una centrifugación para remover biomasa, azúcares residuales y otros compuestos del caldo. Luego, se escoge como método de separación la

precipitación, gracias a su fácil operación, tecnología bien desarrollada y fácil escalamiento (8,24). En esta operación, se acidifica el caldo de fermentación para convertir el lactato de calcio en ácido láctico. Es necesario purificar el producto, por lo cual se emplea un proceso de “bleaching” o blanqueamiento con carbón activado y finalmente se evapora el agua restante hasta obtener ácido láctico L-(+) con 88% de pureza.

Figura 1. Diagrama de bloque del proceso



2.4. Limitaciones y normas

Este proyecto se encuentra sujeto a ciertas limitaciones que, si bien algunas pueden verse como desventajas, otras también permiten controlar una producción industrial responsable. Así, como primer aspecto se tiene la falta de información literaria acerca del uso cáscara de la mazorca del cacao para pretratamientos de biomasa lignocelulósica, hidrólisis, ni para obtención de ácido láctico en general, lo que dificulta la investigación en cuanto a estos temas. Por otro lado, el ácido sulfúrico y el hidróxido de sodio, usados como materia prima en la precipitación y pretratamiento, respectivamente, son reactivos controlados por el CONSEP (Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas), por lo cual su manejo y uso debe cumplir con las disposiciones legales pertinentes. Un tercer factor limitante es que la cosecha del cacao se realiza dos veces por año, lo que lleva a almacenar la materia prima pulverizada para asegurar un caudal continuo. Sumado a esto, el sulfato de calcio, generado en la precipitación, es una sustancia que representa un problema ambiental, por tal razón debe ser enviado a una empresa externa que se encargue de su manejo. Por último, para el funcionamiento de la planta se debe cumplir con algunos permisos que son (28):

- Patente Municipal
- Tasa de habilitación
- Permiso de uso de suelo
- Permiso del Cuerpo de Bomberos
- Autoridad Sanitaria Nacional mediante la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria – ARCSA y Direcciones Provinciales de Salud
- Ministerio de Salud Pública. MPS
- Ministerio de Industrial y Productividad – MIPRO. Categorización de empresas

- Subsecretaría de calidad ambiental – Permiso Ambiental

2.5.Ubicación

La ubicación de la planta será en la provincia del Guayas, específicamente en Guayaquil, puesto que es la zona con mayor producción de cacao a nivel nacional, con lo cual se tendrá fácil acceso a la materia principal. Sumado a esto, la ciudad es uno de los sectores donde más se desarrolla la industria, por lo cual, también se tendría cercanía con los principales compradores del producto. Este punto estratégico permitirá una reducción de costos importante en cuanto a transporte tanto de la cáscara de la mazorca de cacao como del ácido láctico hacia su destino. Además, tiene vías de acceso en buen estado y disponibilidad de los servicios básicos.

2.6. Terminología especializada

Biomasa lignocelulósica: Material vegetal o de origen vegetal que no es destinado para uso como alimento ni piensos e incluye principalmente residuos agrícolas, cultivos energéticos, residuos forestales y recortes de jardín (29). Están constituidos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa.

Lignina: Es un polímero aromático sintetizado a partir de precursores fenilpropanoides, en donde sus principales unidades químicas están unidas entre sí por un conjunto de enlaces para formar una matriz complicada (30).

Hemicelulosa: Es un biopolímero ramificado heterogéneo que contienen pentosas, hexosas y/o ácidos urónicos; tienen una estructura amorfa y ramificada y menor peso molecular (30).

Celulosa: Es el componente principal de la biomasa lignocelulósica, es un polisacárido y sus fibras están unidas por enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares (30).

Inhibidores enzimáticos: Son moléculas que interactúan con enzimas y reducen la velocidad de una reacción (catalizada por enzimas) o impiden que las enzimas funcionen normalmente (31).

Fermentación ácido láctica: Es la manera más simple y común de preservar los alimentos, en este tipo de fermentación, los microorganismos o bacterias ácido lácticas son capaces de convertir los azúcares en ácido láctico (32).

Inóculo: Es una pequeña cantidad de material que contiene bacterias, virus u otros microorganismos que se usa para iniciar un cultivo (33).

Bacterias ácido lácticas: Son un grupo de bacterias gran-positivas, que producen ácido láctico como principal producto final de la fermentación de carbohidratos (5).

***Rhizopus oryzae*:** Es un hongo filamentoso perteneciente a los *Zygomycetes* y es conocido por su capacidad para producir sustancias como el ácido láctico, ácido fumárico y etanol (34).

3. DISEÑO DE PROCESO

3.1. Determinación del caudal de producción

En la sección 1.1.4 se indicó que en el Ecuador no existe producción de ácido láctico y su manera de obtención es por medio de importaciones. Gracias a las estadísticas de consumo de este producto en el país (aproximadamente 65 toneladas en 2019), se pudo establecer una base de producción por año de 30 toneladas. Esto, debido a que se espera inicialmente cubrir la demanda de ácido láctico de manera parcial para tener un establecimiento en el mercado y posteriormente, ampliar la producción. Tomando en cuenta que todo el proceso de producción dura aproximadamente 60 horas, se espera que se cumplan con 102 ciclos al año. Así, se propone elaborar 294,12 kg de ácido láctico por cada período (ciclo) para satisfacer con el caudal total antes planteado.

3.2. Modo de operación

La primera sección del proceso de producción, la preparación de la materia prima, está representado por las corrientes 1 – 10 en la Figura 2. El segundo almacenamiento (realizado en TK-02) se realiza con el objetivo de mantener el caudal de producción, puesto que la materia prima principal será adquirida únicamente 4 veces al año (100,57 toneladas en cada compra). Es por esto que los equipos que intervienen en esta etapa operarán de manera continua solo cuando se realice la adquisición de CPH hasta tratar toda la cantidad disponible, aproximadamente 10 horas durante 5,6 días.

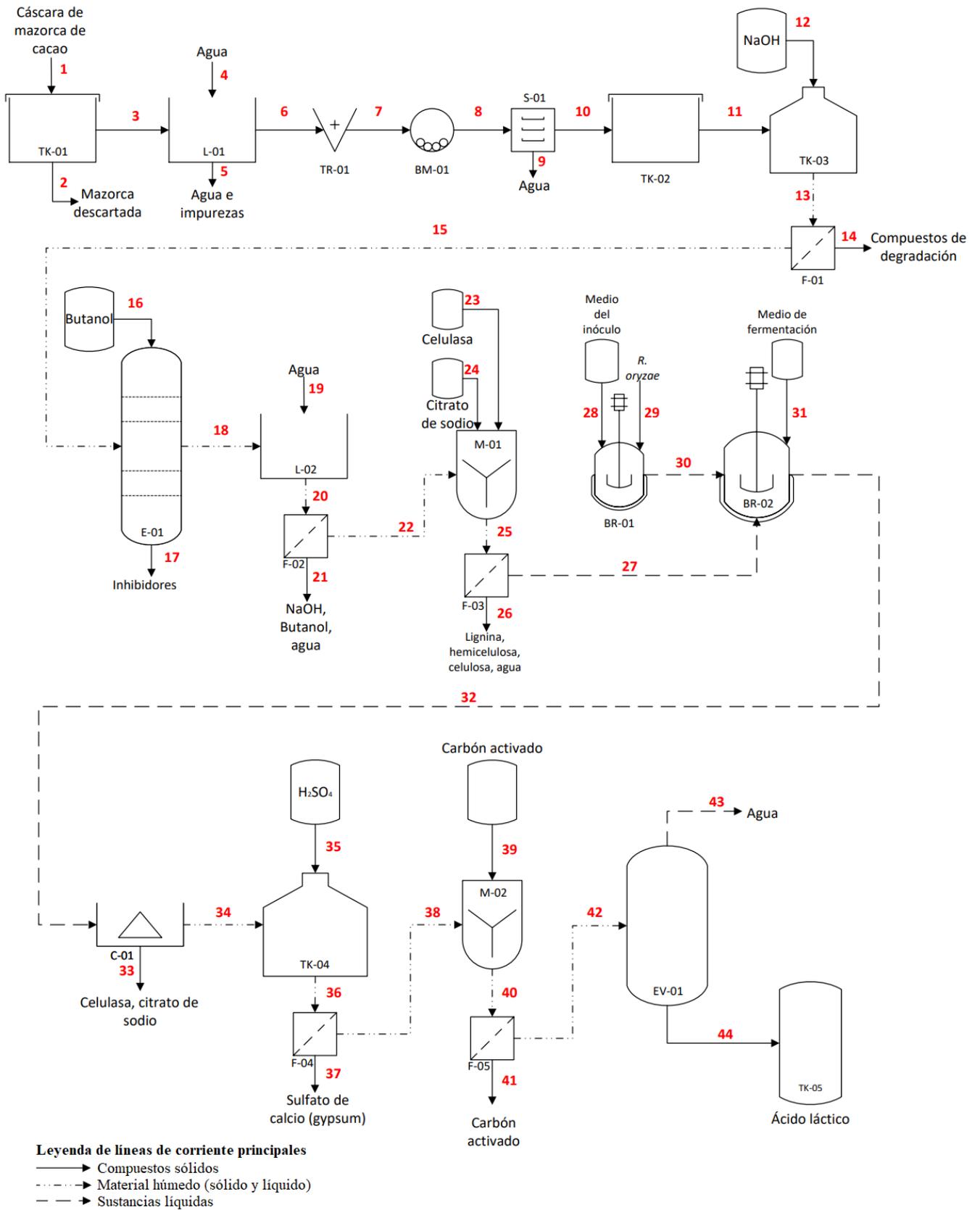
La segunda sección, el pretratamiento para la fermentación está representado por las corrientes 1 – 27 en la Figura 2 y tiene un tiempo de operación de 24 horas, siendo la hidrólisis enzimática la operación con mayor duración (20 horas). En esta sección el caudal de producción inicia con 2443,05 kg de CPH pulverizada que será transformada en azúcares reductores (glucosa) para que pueda ser usado en la fermentación.

La siguiente sección, conformada por la inoculación y fermentación, es la etapa limitante de todo el proceso de producción, debido a su duración (60 horas aproximadamente) y está representado por las corrientes 28-32. Finalmente, la etapa de purificación cuenta con operaciones de centrifugación, precipitación, filtración, bleaching y evaporación, simbolizado por las corrientes 33-44 y con un tiempo de operación total cerca de 6 horas.

Tabla 5. Simbología utilizada para los equipos en el diagrama de flujo

Código	Equipo
TK-01	Primer tanque de almacenamiento de CPH
TK-02	Segundo tanque de almacenamiento de CPH
TK-03	Tanque de pretratamiento alcalino
TK-04	Tanque de precipitación
TK-05	Tanque de almacenamiento de ácido láctico
L-01	Balsa de lavado
L-02	Balsa de lavado
TR-01	Trituradora
BM-01	Molino de bolas
F-01	Filtro de prensa
F-02	Filtro de prensa
F-03	Filtro de prensa
F-04	Filtro de prensa
F-05	Filtro de prensa
E-01	Columna de extracción líquido – líquido
M-01	Tanque mezclador de hidrólisis enzimática
M-02	Tanque mezclador de blanqueado
BR-01	Biorreactor de inóculo
BR-02	Biorreactor de fermentación
C-01	Centrifugadora
EV-01	Evaporador

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso



3.3. Balances de masa

El balance de masa realizado representa la cantidad de materias primas, subproductos y residuos que se requieren y generan a lo largo del proceso de producción por ciclo, es decir, para obtener 294,12 kg de ácido láctico. Además, cabe recalcar que se consideraron pérdidas de masa en algunas operaciones unitarias, visibles en la Tabla A-1. La Tabla 6 muestra el número (filas blancas) y la masa total de las corrientes (filas grises) a lo largo del proceso y el balance de masa detallado se encuentra en el Anexo C.

Tabla 6. Balance de masa del proceso

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100568	25142	75426	188565	190074	73917,48	73126,56	72439,17	10141,48
10	11	12	13	14	15	16	17	18
62297,69	2443,05	4886,09	7329,14	5794,42	1302,63	312,06	232,09	1614,69
19	20	21	22	23	24	25	26	27
9333,67	10948,36	9943,38	1004,98	0,20	27732,60	28737,78	5939,13	22798,65
28	29	30	31	32	33	34	35	36
2281,02	0,93	2281,02	243,53	23043,34	22584,98	390,36	152,86	543,22
37	38	39	40	41	42	43	44	
195,04	348,18	68,33	416,51	82,66	333,84	39,72	294,12	

3.4. Balance de energía

Para este caso, el balance realizado calcula el consumo de energía individual de los equipos y para obtener su consumo por semana se multiplicó por el número de horas (a la semana) durante las cuales estará operando. La tabla 7 resume los resultados obtenidos.

Tabla 7. Balance y consumo de energía de los equipos por semana

Inicio con [kg]	Número de equipos	Potencia [kW]	kW/semana
Balsas de lavado	2	2,2	14,04
Trituradora	1	18,5	59,6
Molienda	1	130	74,56

Horno secador	1	22,5	60,87
Cintas transportadoras	7	0,75	127,81
Filtros	5	2,2	15,4
Columna de extracción L-L	1	1,5	3
Tanque mezclador de hidrólisis enzimática	1	15	210
Bombas centrífugas	3	0,37	8,74
Biorreactor de inóculo	1	12	576
Biorreactor de fermentación	1	15	1800
Centrifugadora	1	15	90
Tanque mezclador de blanqueado	1	12	24
Evaporador	1	0,55	1,1
Caldera	1	18	108
Tornillos sin fin	9	2,2	39,6
TOTAL			3071,35

Gracias al balance de energía, se pudo encontrar que algunos equipos tienen un gran consumo energético, principalmente aquellos que operan por un tiempo prolongado como el tanque mezclador de hidrólisis enzimática, el biorreactor inóculo y de fermentación.

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1. Selección de equipos

4.1.1. Equipos para la preparación y pretratamiento de materia prima

Las operaciones que forman parte de estas secciones son 8: almacenamiento, lavado, triturado, secado, pretratamiento alcalino, extracción líquido - líquido, hidrólisis enzimática y filtración.

Los tanques de acero inoxidable son los equipos seleccionados para el almacenamiento de materia prima y el pretratamiento alcalino; la capacidad del primero (TK-01) será de 100568 kg, el segundo (TK-02) de 62297,69 kg y el tercero (TK-03) de 7329 kg. Mientras que la limpieza de la cáscara se realizará en balsas de lavado y para el primer caso se tratarán 1800 kg CPH/h y para el segundo 1614,7 kg de biomasa pretratada/h. Para la reducción de tamaño (de 20-25 cm a 0.4-0.075 mm) y el secado de la biomasa se llevará a cabo en una trituradora, un molino de bolas y un horno secador, respectivamente.

Por otro lado, el equipo escogido para la eliminación de inhibidores es una columna de extracción líquido - líquido con capacidad de 1614,69 kg. La penúltima operación, la hidrólisis enzimática, se efectuará en un mezclador con chaqueta de calentamiento y finalmente, se usarán filtros de prensa después del pretratamiento, segundo lavado e hidrólisis para retener las sustancias de interés.

4.1.2. Biorreactor inóculo y de fermentación

Un biorreactor es un recipiente en el cual se cultiva uno o varios microorganismos y, mediante el control de sus condiciones (temperatura, pH, agitación, oxigenación, etc.) estos pueden crecer. Debido a que los biorreactores tipo batch son los más usados en la actualidad para producir ácido láctico y que brinda una gran ventaja en cuanto a control de

calidad en el producto obtenido, se escoge este tipo de equipo para ejecutar la fermentación e inoculación. Estos biorreactores estarán equipados con 4 deflectores, agitadores de turbinas Rushton Blades y una chaqueta de calentamiento que permitan mantener condiciones de operación adecuadas según la literatura.

4.1.3. Equipos para la purificación de ácido láctico

Una vez que se obtiene el caldo de fermentación, este pasa por operaciones de centrifugación, precipitación, bleaching y evaporación. Para ejecutar la primera operación se emplea una centrifugadora, que tratará 7000 kg de caldo de fermentación/hora, eliminando la mayor cantidad de impurezas y agua para que la mayor cantidad de lactato de calcio pase al siguiente proceso. A continuación, un tanque de acero y un mezclador son los equipos seleccionados para la precipitación y bleaching, respectivamente. Finalmente, un evaporador eliminará 35,29 kg de agua del producto para obtener ácido láctico con 88% de pureza.

4.1.4. Tipos de bombas y transportadores

A lo largo del proceso de producción se transportan diferentes materiales con varias características, por lo cual es necesario analizar la manera más adecuada de trasladar los compuestos desde un equipo a otro. Con base en la figura 2, las líneas de corrientes principales tienen diferente simbología que permiten reconocer el tipo de materia (sólida, líquida, húmeda) con la que se está trabajando. Así, los instrumentos empleados para llevar las sustancias sólidas de un equipo a otro serán cintas transportadoras. Con respecto a la materia húmeda, se trasladará con tornillos sin fin y para los compuestos líquidos se emplearán bombas centrífugas.

4.2. Diseño y dimensionamiento de equipos

A continuación, se resumen algunas especificaciones para los equipos que intervienen en el proceso de producción.

Tabla 8. Especificaciones de equipos que intervienen en el proceso de producción

Equipo	Especificaciones	
	Capacidad	Dimensiones
Tanque 1: Almacenamiento de CPH	100568 [kg]	4,89 x 11,73 [m] (DxH)
Tanque 2: Almacenamiento CPH triturado	62297,69 [kg]	4,17 x 10 [m] (DxH)
Tanque 3: Pretratamiento alcalino	7329,43 [kg]	1,81 x 4,34 [m] (DxH)
Tanque 4: Precipitación	543,22 [kg]	0,61 x 1,22 [m] (DxH)
Tanque 5: Almacenamiento de ácido láctico	294,13 [kg]	0,53 x 1,28 [m] (DxH)
Balsa de lavado 1	1800 [kg/h]	2,3 x 1 x 1,15 [m] (LxWxH)
Balsa de lavado 2	1614,7 [kg/h]	2,3 x 1 x 1,15 [m] (LxWxH)
Trituradora	1500 [kg/h]	0,95 x 0,78 x 1,14 [m] (LxWxH)
Horno secador	2100 [kg/h]	0,6 x 0,68 x 1,6 [m] (LxWxH)
Columna de extracción LL	2,3 [m ³]	2,35 x 1,35 x 2,56 [m] (LxWxH)
Mezclador 1: Hidrólisis	35,43 [m ³]	2,66 x 6,38 [m] (DxH)
Mezclador 2: Blanqueado	0,79 [m ³]	0,59 x 1,42 [m] (DxH)
Biorreactor 1: Inóculo	2,72 [m ³]	1,13 x 2,71 [m] (DxH)
Biorreactor 2: Fermentación	27,27 [m ³]	2,44 x 5,85 [m] (DxH)
Centrifugadora	7000 [kg/h]	1,4 x 1,2 x 0,8 [m] (LxWxH)
Evaporador	333,84 [kg/h]	1,2 x 2,25 x 4 [m] (LxWxH)
Filtros de prensa	Hasta 50 tons/h	3,18 x 1,2 x 1,3 [m] (LxWxH)

Los cálculos y especificaciones con mayor detalle se encuentran en el Anexo C y D, respectivamente. También se indican las descripciones técnicas para equipos auxiliares y de transporte de materia como son la caldera, cintas transportadoras, tornillo sin fin y bombas centrífugas.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se muestran los resultados de la evaluación económica del proyecto. Se analizan los componentes de costos de la planta como la inversión de capital fijo, capital de trabajo y costos de producción. Sumado a esto, se procederá a utilizar métodos de estimación que emplean los factores de instalación de Lang, Hand y el método factorial detallado (MFD) para poder realizar la estimación de costos. Finalmente, con el estudio del tiempo de recuperación de la inversión se podrá determinar la rentabilidad de la planta.

5.1. Estimación de costos de la planta

Para estimar los costos ISBL (Inside Battery Limits) o los costos de campo, se recurre al cálculo de valores de equipos (teórico) y poder contrastarlos con los reales obtenidos en base a cotizaciones. El ISBL se consigue mediante la aplicación de los métodos Lang, Hand y factorial detallado, donde cada uno cuenta con un enfoque que ayuda a estimar los costos de la planta. Estas estimaciones se realizaron siguiendo la metodología establecida en el libro de Diseño en Ingeniería Química, escrito por Sinnott y Towler.

De este modo, el primer método (Lang) propone que el costo de una planta es una función del costo total del equipo adquirido, considerando a su vez el estado de la materia que se procesa. El segundo (Hand) hace referencia a diferentes tipos de equipos y su material de construcción y la última aproximación (MFD) es más detallada e incluye costos adicionales a los equipos que deben analizarse como el montaje de los mismos, tuberías, electricidad, instrumentos y sistemas de control automático, entre otros.

Tabla 9. Resumen de las aproximaciones utilizadas para encontrar el costo ISBL

	Costos teóricos	Costos reales
Método con factores de Lang	\$ 8.088.706,75	\$ 242.295,60
Método con factores de Hand	\$ 7.674.716,24	\$ 202.468,50
Método Factorial detallado	\$ 12.177.845,21	\$ 322.950,39

Promedio	\$ 9.313.756,07	\$ 255.904,83
-----------------	------------------------	----------------------

La Tabla 8 indica una gran diferencia de precios entre los costos teóricos y los reales, por lo que se puede decir que para el primer caso están sobreestimados. Es por esta razón que se utilizarán los precios en base a cotizaciones, que muestran valores actuales en el mercado para determinar los montos posteriores. Así, los costos ISBL establecidos para este proyecto son: \$255.904,83. A partir de este dato se puede determinar la inversión de capital fijo, correspondiente a la inversión requerida para el diseño, construcción, preparación de lugar e instalación de la planta. También se encontraron los costos de producción fijos y variables, siendo en el primer caso independientes de la producción y en el segundo proporcionales al rendimiento y caudal de la planta. Y, como último punto en esta sección se calcula el capital de trabajo, que hace referencia al dinero adicional que se requiere para la construcción física de la planta.

Tabla 10. Resultados del capital fijo, costos de producción y capital de trabajo

Descripción	Valor [USD]
Inversión de capital Fijo	\$429.920,12
Costos de producción variables	\$ 5.689,30
Costos de producción fijos	\$ 28.888,55
Capital de Trabajo	\$ 71.621,84
Inversión Total	\$501.541,95

5.2. Estimación de ingresos de la planta

Para obtener el precio de venta del producto, se divide el total de los costos de producción para la cantidad de kg de ácido láctico producidos al mes y se establece el margen de ganancia deseado. Una vez realizado esto es posible encontrar el margen de producción bruto, beneficio neto, beneficio bruto y visualizar el flujo de caja. Así, los resultados obtenidos indican que los primeros 2.75 años los ingresos generados de la

comercialización del producto servirán para pagar los costos de inversión, pero a partir del tercer año, el proyecto reflejará las ganancias netas.

Tabla 11. Resumen de ingresos obtenidos por la venta del producto

Ítem	Cantidad [USD]
Costo de producción de 1kg de ácido láctico	\$13,83
Precio de venta del producto (50% de margen de ganancia)	\$ 20,75
Ventas anuales	\$ 622.401,17
Margen de producción bruto	\$ 562.177,61
Beneficio bruto	\$ 207.467,06
Beneficio neto	\$ 182.571,01

5.3. Análisis de recuperación de la inversión y rentabilidad del proyecto

Los valores de TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto) serán utilizados en esta sección para evaluar económicamente el proyecto, ya que son indicadores que dan una medida de la rentabilidad y viabilidad de la planta a corto, mediano y/o largo plazo. En el primer caso, representa el porcentaje de rentabilidad del proyecto al año; mientras que el segundo sirve para conocer cuánto se puede ganar o perder al invertir en el proyecto.

Tabla 12. Resumen de análisis de recuperación de inversión

Descripción	Cantidad
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 1.583.969,72
Tasa Interna de Retorno (TIR)	32%
Tasa de interés	12 %
Tiempo de recuperación [años]	2,74

Los resultados obtenidos en la Tabla 11 indican que el proyecto es rentable, puesto que el VAN tiene un valor positivo y el TIR es mayor a la tasa de interés del banco.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se consiguió realizar un estudio de factibilidad para una planta de producción de ácido láctico a partir de la cáscara de la mazorca del cacao exitosamente. El ácido láctico producido se destinará principalmente a la industria alimenticia que tiene el mayor porcentaje de consumo de este producto. Para poder cumplir con el caudal propuesto de 30 toneladas al año, se procesarán 402,3 toneladas de CPH y así poder suplir la mitad de la demanda nacional de este ácido.

El primer paso en este proceso es el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para poder acceder a la celulosa y que posteriormente se transforme en azúcares más simples mediante la hidrólisis enzimática. Adicionalmente, era importante eliminar los inhibidores para poder obtener buenos rendimientos en la hidrólisis y la fermentación, por lo que se llevó a cabo esta operación mediante una extracción líquido – líquido. De esta manera se llega al corazón del proceso, la fermentación, en la cual un microorganismo, *Rhizopus oryzae*, transforma los carbohidratos y micronutrientes en ácido láctico L-(+) y mediante la adición de CaCO_3 precipita en lactato de calcio. Y, en la recta final del proceso, se optó por realizar una centrifugación, precipitación, blanqueamiento y evaporación para obtener un producto con 88% de pureza.

La selección de equipos que intervienen en el proceso de producción se realizó en base al diagrama de flujo y las operaciones que se realizan, mientras que su dimensionamiento se realizó a partir del balance de masa. Adicionalmente, de algunos equipos tales como la balsa de lavado, trituradora, molino de bolas, centrifugadora, cintas transportadoras, tornillos sin fin, bombas centrífugas, evaporador, caldera y filtros se obtuvieron las especificaciones en función a la capacidad requerida y los modelos disponibles en el mercado. Mientras tanto, el balance de energía permitió cuantificar el requerimiento energético de los equipos.

Por otro lado, el análisis económico del proyecto se realizó en base a los costos reales, es decir, aquellos que fueron cotizados con los precios actuales en el mercado. Si bien se realizaron los cálculos con valores teóricos, se pudo encontrar que la diferencia con los costos reales es muy amplia, por lo cual estos resultados sirven únicamente para realizar una comparación. A partir del monto requerido para los equipos se pudo estimar el costo de capital para la planta, costos de producción, capital de trabajo, entre otros cálculos económicos realizados.

Finalmente, se estableció como precio de venta del producto un valor de \$20.75/kg, obteniendo un margen de ganancia del 50%. Pese a que se podría establecer un margen de ganancia un poco más alto, se decidió mantener este porcentaje para que el precio de venta pueda estar bajo el costo promedio actual en el mercado que es de \$25/kg. Así, la estimación de ingresos de la planta y el análisis de la recuperación de la inversión muestran resultados positivos, indicando que este proyecto es rentable, con un porcentaje de rentabilidad al año del 32% y un tiempo de recuperación de 2.75 años.

Cabe mencionar que el rango de precios del ácido láctico es muy amplio, ya que dependen del proveedor y la pureza del producto, yendo desde precios muy bajos como \$3/kg (purezas de 50-60%) hasta montos mayores a \$100/kg (purezas mayores al 85%). Es por esto que como recomendación se podría reducir costos de producción mediante la búsqueda de materia prima o equipos más económicos para obtener un valor de venta del ácido láctico más bajo. Así, también se reducirá el tiempo de recuperación de la inversión, haciendo que el proyecto sea más rentable.

Por último, se puede afirmar que la planta de producción de ácido láctico a partir de la cáscara de mazorca de cacao, planteada en este estudio, es factible tanto técnica como económicamente. Además, se podría realizar una evaluación a futuro para analizar la

posibilidad de ampliar la capacidad de producción y abastecer por completo la demanda de ácido láctico en el país, brindando beneficios sociales y económicos desde los agricultores de cacao hasta las industrias que adquirirán el producto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abedi E, Hashemi SMB. Lactic acid production – producing microorganisms and substrates sources-state of art. *Heliyon*. 2020 Oct 1;6(10):e04974.
2. Fuessl A, Yamamoto M, Schneller A. Opportunities in Bio-Based Building Blocks for Polycondensates and Vinyl Polymers [Internet]. Vol. 5, *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 10 Volume Set. Elsevier B.V.; 2012. 49–70 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00132-1>
3. Miller C, Fosmer A, Rush B, McMullin T, Beacom D, Suominen P. Industrial Production of Lactic Acid. *Compr Biotechnol*. 2017 Jan 1;208–17.
4. Komesu A, de Oliveira JAR, Martins LH da S, Maciel MRW, Filho RM. Lactic acid production to purification: A review. *BioResources*. 2017;12(2):4364–83.
5. Nwamba MC, Sun F, Mukasekuru MR, Song G, Harindintwali JD, Boyi SA, et al. Trends and hassles in the microbial production of lactic acid from lignocellulosic biomass. *Environ Technol Innov*. 2021 Feb 1;21:101337.
6. Ahmad A, Banat F, Taher H. A review on the lactic acid fermentation from low-cost renewable materials: Recent developments and challenges. Vol. 20, *Environmental Technology and Innovation*. Elsevier B.V.; 2020. p. 101138.
7. Rodrigues C, Vandenberghe LPS, Woiciechowski AL, de Oliveira J, Letti LAJ, Soccol CR. Production and Application of Lactic Acid. *Curr Dev Biotechnol Bioeng Prod Isol Purif Ind Prod*. 2017 Jan 1;543–56.
8. Meng K, Zhang G, Ding C, Zhang T, Yan H, Zhang D, et al. Recent Advances on Purification of Lactic Acid. *Chem Rec* [Internet]. 2020 Nov 1 [cited 2021 Sep 10];20(11):1236–56. Available from:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tcr.202000055>

9. Salvañal L, Clementz A, Guerra L, Yori JC, Romanini D. l-lactic acid production using the syrup obtained in biorefinery of carrot discards. *Food Bioprod Process*. 2021 May 1;127:465–71.
10. Savithra Krishna B, Saibaba NK, Sai Nikhilesh Gantala S, Tarun B, Sarva Sai Nikhilesh G, Saibaba V NK, et al. Industrial production of lactic acid and its applications. 2018 [cited 2021 Oct 25];1(1). Available from: <https://www.researchgate.net/publication/330292057>
11. Anecacao. Sector exportador de cacao [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 25]. Available from: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>
12. ESPAC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua . 2019;1–43.
13. Banco Central del Ecuador. La pandemia incidió en el crecimiento 2020: La economía ecuatoriana decreció 7.8% [Internet]. 2021 [cited 2021 Oct 25]. Available from: <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1421-la-pandemia-incidio-en-el-crecimiento-2020-la-economia-ecuadoriana-decrecio-7-8>
14. Campos-Vega R, Nieto-Figueroa KH, Oomah BD. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends Food Sci Technol*. 2018 Nov 1;81:172–84.
15. Ghysels S, Acosta N, Estrada A, Pala M, Vrieze J De, Ronsse F, et al. Integrating anaerobic digestion and slow pyrolysis improves the product portfolio of a cocoa waste biorefinery. *Sustain Energy Fuels* [Internet]. 2020 Jun 30 [cited 2021 Sep 9];4(7):3712–25. Available from: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/se/d0se00689k>
16. Vásquez ZS, de Carvalho Neto DP, Pereira GVM, Vandenberghe LPS, de Oliveira PZ,

- Tiburcio PB, et al. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Manag.* 2019 May 1;90:72–83.
17. Lu F, Rodriguez-Garcia J, Van Damme I, Westwood NJ, Shaw L, Robinson JS, et al. Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. *Curr Opin Green Sustain Chem.* 2018 Dec 1;14:80–8.
 18. Ouattara LY, Kouassi EK, Soro D, Soro Y, Yao KB, Adouby K, et al. Cocoa Pod Husks as Potential Sources of Renewable High-Value-Added Products: A Review of Current Valorizations and Future Prospects . *BioResources* [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 9];16(1):1–33. Available from: https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_16_1_Review_Ouattara_Cocoa_Pod_Husks
 19. Servicio Nacional de Aduana del Ecuador. Importaciones CIF no petroleras [Internet]. 2019 [cited 2021 Sep 10]. Available from: <https://www.aduana.gob.ec/importaciones/>
 20. Coban HB, Demirci A. Enhancement and modeling of microparticle-added *Rhizopus oryzae* lactic acid production. *Bioprocess Biosyst Eng* 2015 392 [Internet]. 2015 Dec 12 [cited 2021 Oct 10];39(2):323–30. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-015-1518-0>
 21. Wang Z, Wang Y, Yang ST, Wang R, Ren H. A novel honeycomb matrix for cell immobilization to enhance lactic acid production by *Rhizopus oryzae*. *Bioresour Technol.* 2010 Jul 1;101(14):5557–64.
 22. Zhang L, Li X, Yong Q, Yang S, Ouyang J, Yu S. Impacts of lignocellulose-derived inhibitors on L-lactic acid fermentation by *Rhizopus oryzae*. *Bioresour Technol* [Internet]. 2016 Mar 1;203:173–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26724548/>

23. Fu YQ, Yin LF, Zhu HY, Jiang R. High-efficiency l-lactic acid production by *Rhizopus oryzae* using a novel modified one-step fermentation strategy. *Bioresour Technol.* 2016 Oct 1;218:410–7.
24. Komesu A, Maciel MRW, Oliveira JAR de, Martins LH da S, Filho RM. Purification of Lactic Acid Produced by Fermentation: Focus on Non-traditional Distillation Processes. *Sep Purif Rev [Internet]*. 2016 Jul 3 [cited 2021 Sep 11];46(3):241–54. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15422119.2016.1260034>
25. Solarte-Toro JC, Romero-García JM, Martínez-Patiño JC, Ruiz-Ramos E, Castro-Galiano E, Cardona-Alzate CA. Acid pretreatment of lignocellulosic biomass for energy vectors production: A review focused on operational conditions and techno-economic assessment for bioethanol production. *Renew Sustain Energy Rev.* 2019 Jun 1;107:587–601.
26. Jönsson LJ, Martín C. Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresour Technol.* 2016 Jan 1;199:103–12.
27. Roque LR, Morgado GP, Nascimento VM, Ienczak JL, Rabelo SC. Liquid-liquid extraction: A promising alternative for inhibitors removing of pentoses fermentation. *Fuel.* 2019 Apr 15;242:775–87.
28. Agencia Nacional de Regulación C y VS. Guía de Requisitos que se requieren para la Obtención del Permiso de Funcionamiento de los Establecimientos sujetos a Vigilancia y Control Sanitario. 2014 [cited 2021 Dec 16]; Available from: <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/Guia-Requisitos-que-se-requieren-para-obtener-el-permiso-de-funcionamiento.pdf>
29. Xu F, Li Y. Biomass Digestion. *Encycl Sustain Technol.* 2017 Jan 1;197–204.

30. Haghghi Mood S, Hossein Golfeshan A, Tabatabaei M, Salehi Jouzani G, Najafi GH, Gholami M, et al. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013 Nov 1;27:77–93.
31. Kuddus M. Enzymes in food biotechnology: Production, applications, and future prospects. *Enzym Food Biotechnol Prod Appl Futur Prospect.* 2018 Jan 1;1–883.
32. Alexander E, Selwyn A, Yach D, Calitz C, Wang YC. Food and Health. *Encycl Food Heal* [Internet]. 1st ed. 2016 [cited 2021 Nov 7];369–76. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849472003822>
33. Encyclopedia.com. Inoculum [Internet]. 2019 [cited 2021 Nov 8]. Available from: <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/inoculum>
34. Meussen BJ, De Graaff LH, Sanders JPM, Weusthuis RA. Metabolic engineering of *Rhizopus oryzae* for the production of platform chemicals. *Appl Microbiol Biotechnol* [Internet]. 2012 May [cited 2021 Nov 8];94(4):875. Available from: </pmc/articles/PMC3339055/>
35. Geankoplis CJ. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a edición. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. ; 1998.
36. Padron G. Measurement and Comparison of Power Draw in Batch Rotor-Stator Mixers [Internet]. 2001 [cited 2021 Dec 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/305278259_Measurement_and_Comparison_of_Power_Draw_in_Batch_Rotor-Stator_Mixers
37. Sinnott RK, Towler G. *Chemical Engineering Design*. Chem Eng Des. 2013;
38. Morrissey B, O'brien B, Hogan M, Hogan E, Rameshwar P, Padamati R. A method of

- producing lactic acid. *Ion Exchange Materials: Properties and Applications*. World Intellectual Property Organization; 2018. p. 365–8.
39. Carl Roth. Safety Data Sheet: Sodium Hydroxide [Internet]. 2018 [cited 2021 Dec 20]. Available from: <https://www.carlroth.com>
 40. Affymetrix. Safety Data Sheet-Cellulase [Internet]. 2015 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–10. Available from: <http://www.affymetrix.com/support/technical/usb/msds/13285A.pdf>
 41. Carl Roth. Safety data sheet - 1-Butanol [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–1. Available from: <https://www.carlroth.com>
 42. Fisher Scientific. Safety Data Sheet Sodium Citrate, Lab Grade [Internet]. 2014 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–7. Available from: <https://beta-static.fishersci.com>
 43. Zeptomatrix. Safety Data Sheet (SDS)-Rhizopus oryzae Z106 [Internet]. [cited 2021 Sep 11]. Available from: <https://www.zeptomatrix.com/media/documents/SDS0801834DNA-1UG.pdf>
 44. Carl Roth. Safety Data Sheet-Calcium Carbonate [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 11]. Available from: <https://www.carlroth.com>
 45. Carl Roth. Safety data sheet-Sulphuric acid [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–19. Available from: <https://www.carlroth.com>
 46. Fisher Scientific. Safety Data Sheet: Charcoal, Activated Carbon [Internet]. 2015 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–7. Available from: <https://beta-static.fishersci.com>
 47. Ravensdown. Safety Data Sheet Section 1: Ammonium sulphate [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–6. Available from: <https://www.ravensdown.co.nz/media/5000/ammonium-sulphate-sds-2020.pdf>

48. Carl Roth. Safety Data Sheet: Magnesium sulphate heptahydrate [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–12. Available from: <https://www.carlroth.com>
49. Carl Roth. Safety Data Sheet: Zinc sulphate heptahydrate [Internet]. 2021 [cited 2021 Dec 20]. Available from: www.carlroth.com
50. LabChem. Potassium Phosphate, Monobasic SECTION 1: Identification [Internet]. 2018 [cited 2021 Sep 11]. p. 1–5. Available from: <http://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC20095.pdf>

8. ANEXOS

8.1. Anexo A: Metodología

8.1.1. Objetivo específico 1: Determinar el mejor proceso para la producción de ácido láctico mediante el uso de una materia prima novedosa como es la cáscara de mazorca de cacao.

- a. Realizar una investigación literaria acerca de los procesos necesarios para producir ácido láctico a partir de biomasa lignocelulósica y, en caso de haberlo, de la cáscara de la mazorca del cacao.
 - i. Determinar las operaciones principales para preparar la materia prima.
 - ii. Seleccionar las operaciones más adecuadas previas a la fermentación.
 - Realizar matrices de decisión, en caso de necesitarlas, para escoger la opción más apropiada.
 - iii. Seleccionar el mejor microorganismo para llevar a cabo la fermentación ácido láctica.
 - Establecer las condiciones de operación óptimas para el biorreactor de fermentación e inóculo para el microorganismo *Rhizopus oryzae*.
 - iv. Escoger el procedimiento más factible para purificar ácido láctico hasta obtener una pureza del 88%.
- b. Elaboración de diagramas de bloque y flujo
 - i. Análisis de las operaciones principales y secundarias que intervienen en el proceso de producción.
 - ii. Reconocer los caudales de entrada y salida para cada operación.
 - iii. Escoger los equipos adecuados para cada operación dentro del proceso de producción.

- c. Determinar un caudal de producción.
 - i. Análisis de las importaciones de ácido láctico en el país
 - Escoger una cantidad de producción para suplir la demanda del producto parcial o totalmente.
 - ii. Revisión de rendimientos de cada etapa del proceso que interviene en la producción de ácido láctico.
 - iii. Cálculo de un caudal de producción aproximado, tomando en cuenta las pérdidas que se generan en cada etapa del proceso de producción.
- d. Balances de masa y energía del proceso
 - i. Identificación de las corrientes de entrada y salida (principales y auxiliares) del diagrama de flujo.
 - ii. Análisis de los equipos que intervienen en cada operación del proceso de producción (si va a haber o no un cambio en la masa/energía).
 - iii. Establecer las ecuaciones de balance de masa/energía para todas las corrientes que correspondan.
 - Realizar el balance de masa del proceso, considerando los rendimientos y pérdidas en cada operación.
 - Calcular el consumo energético de los equipos tomando en cuenta las horas de operación por ciclo de producción.

8.1.2. Objetivo específico 2: Realizar la selección y dimensionamiento de los equipos requeridos para este proceso

- a. Dimensionar los equipos para cada operación unitaria
 - i. Tanque de almacenamiento de cáscara de mazorca de cacao
 - Investigar la densidad de la cáscara de la mazorca de cacao y junto con la capacidad (en kg.) se calcula el volumen total del tanque.

- Utilizar la relación de altura (longitud) y diámetro: $L=2D$ para tanques cilíndricos.
- Aumentar la altura en un 20% como factor de seguridad del tanque.
- Calcular la presión de diseño del tanque mediante la siguiente ecuación:

$$P_i = 1.1 * P_o$$

$$P_o = P_g + P_{atm}$$

$$P_h = \rho * g * h$$

Donde:

P_i = presión de diseño del tanque

P_o = presión de operación

P_g = presión manométrica

P_{atm} = presión atmosférica

ρ = densidad del contenido del tanque

g = aceleración de la gravedad

- Con la P_i es posible calcular el espesor de la pared del tanque:

$$t_w = \frac{P_i * D_i}{2SE - 1.2P_i} + 2mm$$

Donde:

P_i = presión de diseño del tanque

D_i = diámetro interno del tanque

S = esfuerzo máximo permisible

E = eficiencia de la soldadura

- Posteriormente, se calcula la masa del tanque:

$$m = \pi * D * L * \rho * t_w$$

Donde:

D = diámetro del tanque

L = longitud del tanque

ρ = densidad del acero inoxidable

t_w = espesor de la pared del tanque

- Luego, se realiza el cálculo para el espesor de los terminales del tanque. Para terminales planas se usa la siguiente ecuación:

$$t_w = D_e \sqrt{\frac{C P_i}{S E}}$$

Donde:

D_e = diámetro interno

C = constante igual a 0.1

P_i = presión de diseño del tanque

S = esfuerzo máximo permisible

E = eficiencia de la soldadura

- Después se calcula la masa de los terminales:

$$m = \pi * D^2 * \rho * t_w$$

Donde:

D = diámetro del tanque

L = longitud del tanque

ρ = densidad del acero inoxidable

t_w = espesor de la pared de terminales

- Finalmente se suma la masa del tanque y terminales

ii. Balsa de Lavado

- Buscar un equipo que pueda procesar total o parcialmente la capacidad requerida en esta operación.
- iii. Trituradora
- Buscar un equipo que pueda procesar total o parcialmente la capacidad requerida en esta operación.
- iv. Molino de bolas
- Buscar un equipo que pueda procesar total o parcialmente la capacidad requerida en esta operación.
- v. Horno secador:
- Calcular el volumen de las cáscaras de mazorca que van a ser tratadas en esta operación.
 - Adicionar un 15% al volumen como margen de seguridad.
 - Encontrar las dimensiones del horno secador según una geometría rectangular:

$$P (\text{profundidad}) = \sqrt[3]{\frac{V}{3}}$$

$$H (\text{alto}) = 2 * P$$

$$A (\text{ancho}) = 1.5 * P$$

- vi. Tanque de almacenamiento de la cáscara de mazorca pulverizada
- Seguir la metodología descrita para el primer tanque de almacenamiento
- vii. Tanque de pretratamiento alcalino
- Seguir la metodología descrita para el primer tanque de almacenamiento
 - Para calcular el área de la chaqueta térmica se utiliza la ecuación:

$$A = 2 * \pi * r * 1.2$$

Donde:

r = radio del tanque

- El grosor de la chaqueta será el 1% del área de la misma.

viii. Columna de extracción líquido – líquido

- Buscar un equipo que pueda procesar total o parcialmente la capacidad requerida en esta operación.

ix. Tanque mezclador de hidrólisis enzimática

- Seguir la metodología descrita para el primer tanque de almacenamiento.
- Seleccionar las aspas más adecuadas para el agitador.
- Calcular el diámetro del agitador con la siguiente relación:

$$D_a = D_{tank} * 30\% \quad (35)$$

- Calcular la potencia del agitador:

$$P = N_p * D_a^5 * N^3 * \rho$$

Donde:

P = Potencia del agitador

N_p = número de potencia (ver en Figura A-1)

D_a = diámetro del agitador

N = velocidad de rotación

ρ = densidad del contenido del tanque

- Para calcular el área de la chaqueta térmica se utiliza la ecuación:

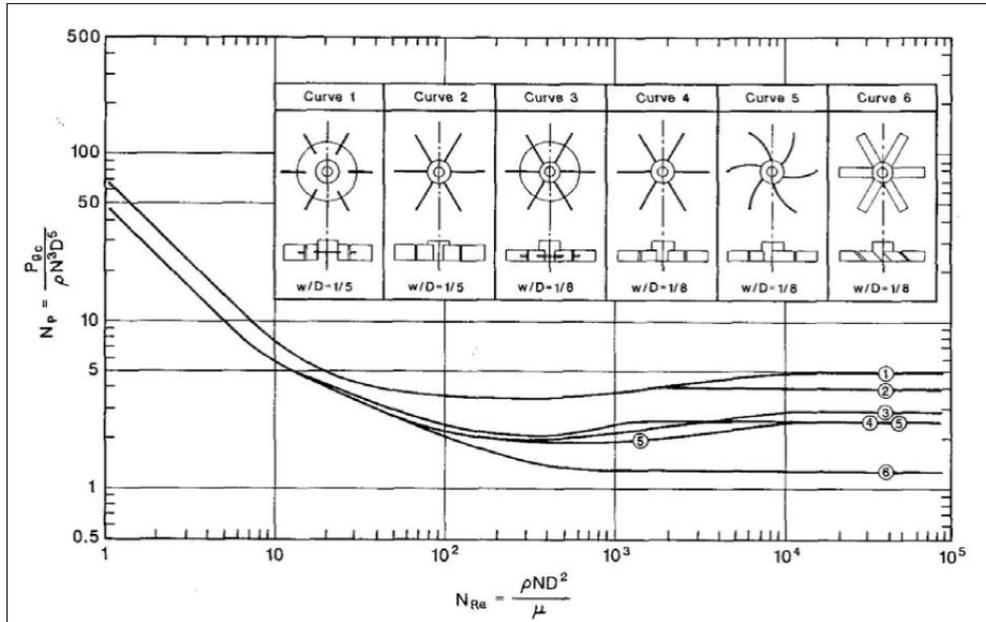
$$A = 2 * \pi * r * 1.2$$

Donde:

r = radio del tanque

- El grosor de la chaqueta será el 1% del área de la misma.

Figura A-1. Valores de N_p vs Número de Reynolds (36)



- x. Biorreactor de inóculo
 - Seguir la metodología descrita para el tanque mezclador de hidrólisis enzimática.
- xi. Biorreactor de fermentación
 - Seguir la metodología descrita para el tanque mezclador de hidrólisis enzimática.
- xii. Centrifugadora
 - Buscar un equipo que pueda procesar total o parcialmente la capacidad requerida en esta operación.
- xiii. Tanque de precipitación
 - Seguir la metodología descrita para el primer tanque de almacenamiento.
- xiv. Tanque mezclador de blanqueado

- Seguir la metodología descrita para el tanque mezclador de hidrólisis enzimática, a excepción de la chaqueta térmica.
- xv. Evaporador
- Buscar un equipo que pueda procesar la capacidad requerida en esta operación.
- xvi. Tanque de almacenamiento de ácido láctico
- Seguir la metodología descrita para el primer tanque de almacenamiento.
- xvii. Filtros de prensa
- Buscar un equipo que pueda procesar la capacidad requerida en esta operación.
- xviii. Bombas centrífugas
- Buscar una bomba que pueda transportar las sustancias líquidas (o mayormente líquidas) de un equipo a otro.
- xix. Cintas transportadoras
- Buscar una cinta que pueda transportar las sustancias sólidas de un equipo a otro.
- xx. Tornillos sin fin
- Buscar un tornillo sin fin que pueda transportar las sustancias húmedas de un equipo a otro.
- xxi. Caldera
- Lo primero es encontrar el caudal de vapor que se requiere para calentar la(s) chaqueta(s) térmica(s). Así, se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_s = \frac{m * C_p * \Delta T}{h_{fg} * h}$$

Donde:

W_s = Caudal de vapor

m = masa del material a calentar

C_p = calor específico

ΔT = incremento de temperatura

h_{fg} = entalpía de evaporación del vapor

h = tiempo disponible

- Una vez que se conoce la cantidad de vapor requerida se busca un equipo que pueda generar el vapor necesario.

8.1.3. Objetivo específico 3: Analizar la factibilidad económica de la planta de producción, diseñada para suplir alrededor del 50% de la demanda nacional de ácido láctico.

a. Determinar el costo de los equipos

- i. Buscar el precio de venta de los equipos con las características requeridas.
- ii. Realizar una estimación de costos teóricos siguiendo la metodología de Sinnott y Towler:

$$C_e = a + bS^n \quad (37)$$

Donde:

C_e = costo teórico del equipo

a , b , S y n = factores y constantes de la tabla 6.6 del libro

Diseño en ingeniería Química

b. Realizar la estimación de costos según el método con los factores de Lang

- i. Determinar los factores de Lang para cada tipo de procesamiento: 3 (para procesamiento de sólidos), 4 (para procesamiento de fluidos), 5 (para procesamiento mixto).
 - ii. Sumar los costos y multiplicar por el factor de Lang correspondiente.
 - c. Realizar la estimación de costos según el método con los factores de Hand
 - i. Determinar los factores de material de los equipos.
 - ii. Seleccionar el factor de instalación de Hand para cada equipo.
 - iii. Multiplicar el costo de los equipos por el factor de material e instalación.
 - iv. Sumar los resultados obtenidos
 - d. Realizar la estimación de costos según el Método Factorial Detallado
 - i. Determinar los factores para: el material; tipo de procesamiento; instalación de tubería, montaje de equipo, trabajo eléctrico, instrumentación, etc.
 - ii. Multiplicar el costo de los equipos por los factores anteriormente mencionados.
 - iii. Sumar los resultados obtenidos.
 - e. Establecer el costo ISBL mediante un promedio entre los costos reales
 - f. Calcular la inversión de capital fijo
 - i. Calcular el costo OSBL como el 40% del ISBL.
 - ii. Calcular el costo de ingeniería con un 10 al 30% del ISBL + OSBL, dependiendo del tamaño del proyecto.
 - iii. Determinar los costos de imprevistos como $\geq 10\%$ del ISBL + OSBL.
 - g. Calcular los costos de producción variables y fijos
 - i. Costos de producción variables:

- Determinar el costo de materia prima, servicios de agua potable, electricidad y transporte mensual.
 - Sumar todos los valores.
- ii. Costos de producción fijos:
- Labor de operación, salarios de las personas al mes.
 - Supervisión: 25% de la labor de operación.
 - Gastos salariales: 40% de labor de operación + supervisión.
 - Mantenimiento: 4% del ISBL.
 - Impuesto: 1% del ISBL.
 - Alquiler de terreno: 1% del ISBL + OSBL.
 - Gastos generales: 65% de labor de operación + supervisión + gastos salariales + mantenimiento.
 - Gastos medio ambientales: 1% del ISBL + OSBL.
 - Costo por licencias de funcionamiento: Depende de permisos requeridos.
- h. Calcular el capital de trabajo
- i. Valor de inventario de materias primas: estimado como el costo de materias primas usadas en 2 semanas de producción.
 - ii. Valor de inventario de productos y subproductos: costo de producción de 2 semanas.
 - iii. Efectivo en caja: costo de producción de 1 semana.
 - iv. Cuentas a cobrar: costo de producción de 1 mes.
 - v. Créditos cuentas pendientes: costo total de suministros usados en 1 mes.
 - vi. Inventario repuestos: 1-2% del ISBL + OSBL

- i. Encontrar la inversión total requerida, sumando el capital de trabajo y la inversión de capital fijo
- j. Determinar los ingresos de la planta
 - i. Calcular el precio de venta mediante los costos de producción y el caudal, añadiendo el margen de ganancia deseado para el producto.
 - ii. Ventas anuales: Producción anual * precio de venta establecido.
 - iii. Margen del producto bruto: Ventas anuales – costo de materias primas.
 - iv. Beneficio bruto: Ventas anuales – costos de producción (fijos y variables).
 - v. Beneficio neto: Beneficio bruto – Impuestos (12%).
- k. Realizar el análisis de recuperación de la inversión
 - i. Estimar el flujo de caja considerando la depreciación y el impuesto.
 - ii. Estimar el tiempo de recuperación de la inversión, mediante la división de la inversión total inicial para el beneficio neto.
- l. Llevar a cabo la evaluación de rentabilidad del proyecto
 - i. Calcular el Valor Actual Neto (VAN) con la función “VAN” en Microsoft Excel.
 - ii. Calcular la Tasa interna de retorno (TIR), usando la función “TIR” en Microsoft Excel, estableciendo una tasa de interés del 12%.
- m. Determinar si el proyecto es rentable a nivel técnico y/o económico.

8.2.Anexo B: Marco Legal

Figura A-2. Patente de la producción de ácido láctico (38)

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
15 February 2018 (15.02.2018)



(10) International Publication Number
WO 2018/029219 A1

(51) International Patent Classification:
C12P 7/56 (2006.01) *BOW 61/58* (2006.01)
A23C 9/142 (2006.01)

(21) International Application Number:
PCT/EP20 17/070 120

(22) International Filing Date:
08 August 2017 (08.08.2017)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
16183196.1 08 August 2016 (08.08.2016) EP

(71) Applicant: GLANBIA IRELAND DAC [IE/IE]; Ballyconra, Ballyraggat, Co. Kilkenny (IE).

(72) Inventors: MORRISSEY, Bill; Boulabea Moyne, Thurles, Co. Tipperary (IE). O'BRIEN, Colm; Corelish, Pallasgreen, Co. Limerick (IE). HOGAN, Magda; 13 Hazelbrook Parcagowan, Kilkenny, Co. Kilkenny (IE). HOGAN, Eamon; 13 Hazelbrook Parcagowan, Kilkenny, Co. Kilkenny (IE). SAWDEKAR, Parikshit, Rameshwar; 39 South Richmond Street, Dublin, 2 (IE). PADAMATI, Ramesh, Babu; 26 Adamstown Avenue, Lucan, Co. Dublin (IE).

(74) Agent: PURDY, Hugh, Barry; PurdyLucey Intellectual Property, 6-7 Harcourt Terrace, Dublin, 2 (IE).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— with international search report (Art. 21(3))

(54) Title: A METHOD OF PRODUCING LACTIC ACID

8.3.Anexo C: Cálculos y Resultados

8.3.1. Pérdidas de masa consideradas en ciertos equipos

Tabla A-1. Pérdidas de masa consideradas en el balance de masa

Equipo	Pérdida (Teórica)
Triturador	1,07 %
Molienda	0,94 %
Filtros de prensa	1 %
Balsa de Lavado	2%
Centrífuga	0,7 %

8.3.2. Balance de masa

Tabla A-2. Balance de masa para un ciclo de producción

Compuesto [Tons]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cáscara de mazorca del cacao	100,57		75,4			73,9	73,1	72,4	10,1	62,3	2,04
Mazorca descartada		25,1									
Agua				188,6	190,1						
TOTAL	100,57	25,1	75,4	188,6	190,1	73,9	73,1	72,4	10,1	62,3	2,04
Compuesto [kg]	11	12	13	14	15	16	17	18			
NaOH		146,58	146,58	135,59	10,99			10,99			
Compuestos de degradación			1262,57	1262,57							
Celulosa	813,53		597,89		597,89			597,89			
Lignina	1221,52		232,09		232,09			232,09			
Hemicelulosa	407,99		106,20		106,20			106,20			
Agua		4739,51	4739,51	4384,05	355,46			355,46			
Butanol						312,06		312,06			
Inhibidores			244,30	12,22			232,09				
TOTAL	2443,05	4886,09	7329,14	5794,42	1302,63	312,06	232,09	1614,69			
Compuesto [kg]	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
NaOH		10,99	10,99								
Celulosa		597,89	17,94	579,95			115,99	115,99			
Lignina		232,09	6,96	225,13			225,13	225,13			
Hemicelulosa		106,20	3,19	103,01			103,01	103,01			
Agua	9333,7	9689,13	9592,24	96,89		27378,1	27474,98	5495	21980		
Butanol		312,06	312,06								
Celulasa					0,20		0,20		0,20		
Citrato de sodio						354,51	354,51		354,51		
Glucosa							463,96		463,96		
TOTAL	9333,7	10948,36	9943,38	1004,98	0,20	27732,6	28737,78	5939,1	22799		
Compuesto [kg]	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Agua	2198		2198		22007,82	21963,81	44,02		44,02		
Glucosa	46,40		46,40		162,39	160,76	1,62		1,62		
Celulasa	0,02		0,02		0,20	0,20	0,002		0,002		
Citrato de sodio	35,45		35,45		354,51	350,96	3,55		3,545		

(NH ₄) ₂ SO ₄	0,93		0,93	9,28					
MgSO ₄ (7H ₂ O)	0,12		0,12	1,16					
ZnSO ₄ (7H ₂ O)	0,02		0,02	0,19					
KH ₂ PO ₄	0,09		0,09	0,93					
CaCO ₃				231,98	77,33	76,56	0,77		0,77
Biomasa					29,55	29,26	0,30		0,30
<i>R. oryzae</i>		0,93							
Lactato de calcio					343,54	3,44	340,10		36,75
CO ₂					68				
Ácido sulfúrico								152,86	
Ácido láctico									269,50
Sulfato de calcio									186,72
TOTAL	2281,02	0,93	2281,02	243,53	23043,34	22584,98	390,36	152,86	543,22
Compuesto [kg]	37	38	39	40	41	42	43		44
Agua	2,2	41,81		41,81	2,09	39,72	39,72		
Glucosa		1,62		1,62	1,62				
Celulasa		0,002		0,002	0,002				
Citrato de sodio		3,55		3,55	3,55				
CaCO ₃		0,77		0,77	0,77				
Biomasa		0,30		0,30	0,30				
Lactato de calcio	0,73	36,01		36,01	0,72	35,29			35,29
Ácido láctico	5,39	264,11		264,11	5,28	258,82			258,83
Sulfato de calcio	186,72								
Carbón activado			68,33	68,33	68,33				
TOTAL	195,04	348,18	68,33	416,51	82,66	333,84	39,72		294,12

8.3.3. Dimensionamiento de equipos

a. Tanque de almacenamiento de cáscara de mazorca de cacao

Tabla A-3. Dimensionamiento de TK-01

Datos	
Masa de alimentación [kg]	100568
Densidad de CPH [kg/m ³]	547,88
Volumen de CPH [m ³]	183,56

Dimensiones	
Diámetro [m]	4,89
Altura [m]	9,78
Altura + 20% [m]	11,73
Volumen total tanque [m ³]	220,27
Cálculo de la presión de diseño	
Pg (P manométrica) [Pa]	63064,34
Po (p operación) [Pa]	164389,34
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
Espesor de la pared	
S [N/mm ²]	137,90
E	0,90
tw [mm]	2,48
tw + 2mm	4,48
tw [m]	0,0045
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930
Masa tanque [kg]	6401,46
tw (plana) pared [mm]	49,22
tw pared [m]	0,05
Masa terminales [kg]	5995,10
Masa total [kg]	12396,56

b. Horno secador

Tabla A-4. Dimensionamiento del Horno secador

Datos	
Masa de alimentación [kg]	72439,17
Densidad de CPH [kg/m ³]	547,88
Volumen de CPH [m ³]	132,22
Dimensionamiento	
Volumen +15% [m ³]	152,05
Largo [m]	3,70
Ancho [m]	5,55
Altura [m]	7,40
Área [m ²]	5,55

Cabe recalcar que a pesar de que se realizó el dimensionamiento del horno secador, en la Tabla 7 aparecen especificaciones del equipo cotizado,

debido a que es ese el que se consideró en los demás cálculos (balance de energía, análisis económico, etc.).

c. Tanque de almacenamiento de cáscara de mazorca de cacao pulverizada

Tabla A-5. Dimensionamiento de TK-02

Datos	
Masa de alimentación [kg]	62297,689
Densidad de CPH [kg/m ³]	547,88
Volumen de CPH [m ³]	113,71
Dimensiones	
Diámetro [m]	4,17
Altura [m]	8,34
Altura + 20% [m]	10,0
Volumen total tanque [m ³]	136,45
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,9
E	0,9
tw [mm]	2,11
tw + 2mm	4,11
tw [m]	0,0041
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930
masa tanque [kg]	4271,9
tw (plana) pared [mm]	41,96
tw pared [m]	0,042
Masa terminales [kg]	4356,5
Masa total [kg]	8628,4

d. Tanque de pretratamiento alcalino

Tabla A-6. Dimensionamiento de TK-03

Datos	
Masa de alimentación Total [kg]	7329,43
Densidad Total [kg/m ³]	870,10
Volumen de mezcla [m ³]	9,28

Dimensiones	
Diámetro [m]	1,81
Altura [m]	3,62
Altura + 20% [m]	4,34
Volumen total tanque [m ³]	11,14
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,90
E	0,90
tw [mm]	0,92
tw + 2mm	2,92
tw [m]	0,003
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930,00
masa tanque [kg]	570,01
tw (plana) pared [mm]	18,20
tw pared [m]	0,02
Masa terminales	819,78
Masa total [kg]	1389,79
Chaqueta Térmica	
Área [m ²]	6,82
Grosor [m]	0,07

e. Tanque mezclador de hidrólisis enzimática

Tabla A-7. Dimensionamiento de M-01

Datos	
Masa de alimentación Total [kg]	28835,80
Densidad Total [kg/m ³]	1236,54
Volumen de mezcla [m ³]	29,52
Dimensiones	
Diámetro [m]	2,66
Altura [m]	5,32
Altura + 20% [m]	6,38
Volumen total tanque [m ³]	35,43
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,90
E	0,90
tw [mm]	1,35
tw + 2mm [mm]	3,35
tw [m]	0,003

Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930,00
Masa tanque [kg]	1415,18
tw (plana) pared [mm]	26,77
tw pared [m]	0,03
Masa terminales [kg]	1773,02
Masa total [kg]	3188,19
Agitador	
Diámetro [m]	0,80
Potencia [W]	1848,17
Chaqueta Térmica	
Área [m ²]	10,02
Grosor [m]	0,10

f. Biorreactor inóculo

Tabla A-8. Dimensionamiento de BR-01

Datos	
Masa de alimentación Total [kg]	2289,79
Densidad Total [kg/m ³]	1019,51
Volumen de mezcla [m ³]	2,27
Dimensiones	
Diámetro [m]	1,13
Altura [m]	2,26
Altura + 20% [m]	2,71
Volumen total tanque [m ³]	2,72
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,90
E	0,90
tw [mm]	0,57
tw + 2mm [mm]	2,57
tw [m]	0,003
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930,00
masa tanque [kg]	196,36
tw (plana) pared	11,37
tw pared [m]	0,01
Masa terminales [kg]	320,15
Masa total [kg]	516,51
Agitador	
Diámetro [m]	0,34

Potencia [W]	23,22
Chaqueta térmica	
Área [m ²]	4,26
Grosor [m]	0,04

g. Biorreactor de fermentación

Tabla A-9. Dimensionamiento de BR-02

Datos	
Masa de alimentación Total [kg]	23120,60
Densidad Total [kg/m ³]	1039,80
Volumen de mezcla [m ³]	22,72
Dimensiones	
Diámetro [m]	2,44
Altura [m]	4,87
Altura + 20% [m]	5,85
Volumen total tanque [m ³]	27,27
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,90
E	0,90
tw [mm]	1,24
tw + 2mm [mm]	3,24
tw [m]	0,003
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930,00
masa tanque [kg]	1148,61
tw (plana) pared	24,53
tw pared [m]	0,02
Masa terminales [kg]	1489,14
Masa total [kg]	2637,76
Agitador	
Diámetro [m]	0,73
Potencia [W]	1004,72
Chaqueta térmica	
Área [m ²]	9,19
Grosor [m]	0,09

h. Tanque de precipitación

Tabla A-10. Dimensionamiento de TK-04

Datos	
Masa de alimentación [kg]	543,22
Densidad de CPH [kg/m ³]	1547,84
Volumen de CPH [m ³]	0,36
Dimensiones	
Diámetro [m]	0,61
Altura [m]	1,22
Altura + 20% [m]	1,47
Volumen total tanque [m ³]	0,43
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,9
E	0,9
tw [mm]	0,31
tw + 2mm	2,31
tw [m]	0,002
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930
masa tanque [kg]	51,70
tw (plana) pared [mm]	6,16
tw pared [m]	0,01
Masa terminales [kg]	93,87
Masa total [kg]	145,57

i. Tanque mezclador de blanqueado

Tabla A-11. Dimensionamiento de M-02

Datos	
Masa de alimentación Total [kg]	416,67
Densidad Total [kg/m ³]	1329,74
Volumen de mezcla [m ³]	0,33
Dimensiones	
Diámetro [m]	0,59
Altura [m]	1,19
Altura + 20% [m]	1,42
Volumen total tanque [m ³]	0,39
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,90

E	0,90
tw [mm]	0,30
tw + 2mm [mm]	2,30
tw [m]	0,002
Masa de tanque y terminales	
ρ (acero inoxidable 304) [kg/m ³]	7930,00
Masa tanque [kg]	48,29
tw (plana) pared [mm]	5,97
tw pared [m]	0,01
Masa terminales [kg]	88,06
Masa total [kg]	136,35
Agitador	
Diámetro [m]	0,18
Potencia [W]	2,19

j. Tanque de almacenamiento de ácido láctico

Tabla A-12. Dimensionamiento de TK-05

Datos	
Masa de alimentación [kg]	294,12
Densidad de CPH [kg/m ³]	1234,80
Volumen de CPH [m ³]	0,24
Dimensiones	
Diámetro [m]	0,53
Altura [m]	1,07
Altura + 20% [m]	1,28
Volumen total tanque [m ³]	0,29
Espesor de la pared	
Pi (p diseño) [N/mm ²]	0,13
S [N/mm ²]	137,9
E	0,9
tw [mm]	0,27
tw + 2mm	2,27
tw [m]	0,002
Masa de tanque y terminales	
ρ (Polietileno) [kg/m ³]	920
Masa tanque [kg]	4,49
tw (plana) pared [mm]	5,38
tw pared [m]	0,01
Masa terminales [kg]	8,30
Masa total [kg]	12,8

8.4.Anexo D: Cotizaciones

8.4.1. Tanque para almacenamiento, pretratamiento alcalino y precipitación

Figura A-3. Especificaciones para un tanque



[View larger image](#)



Wholesale China Stainless Steel Water Storage Tank Oil Storage Tank

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$100.00 - \$10,000.00 / Cubic Meter | 1 Cubic Meter/Cubic Meters(Min. Order)

Model Number:

Samples: Storage Tank
\$10,000.00/Cubic Meter | 1 Cubic Meter (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time🕒:

Quantity(Cubic Meters)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Quick Details

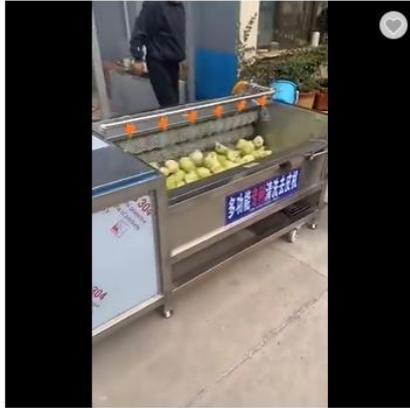
Place of Origin:	Shandong, China	Brand Name:	jinhongda
Condition:	New	Video outgoing-inspection:	Provided
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	Ordinary Product
Core Components:	Pressure vessel	Warranty of core components:	1 Year
Max Working Pressure(MPa):	20 MPa	Weight:	500
Applicable Industries:	Hotels, Manufacturing Plant, Energy & Mining, Other	Warranty:	1 Year
After Warranty Service:	Video technical support	Key Selling Points:	High Safety Level
Show location:	Germany France Italy Canada United Kingdom United States	Showroom Location:	Canada, United Kingdom, United States, Italy, France, Germa...
		Aftersales Service Provided:	Video techni calsupport
		Local Service Location:	Canada

Provedor: Shandong Hongda Science&technology Group Co., Ltd.

8.4.2. Balsa de Lavado

Figura A-4. Especificaciones para una balsa de lavado

Model	Power	Voltage	Length of hair roller	Number of hair rollers	Machine size
MH-GX800	1150*850*900MM	0.75KW	800MM	9	1150*850*900MM
MH-GX1000	1500*900*950MM	1.1KW	1000MM	9	1500*900*950MM
MH-GX1200	1700*950*1050MM	1.5KW	1200MM	9	1700*950*1050MM
MH-GX1500	2000*950*1100MM	1.5KW	1500MM	9	2000*950*1100MM
MH-GX1800	2300*1000*1150MM	2.2KW	1800MM	9	2300*1000*1150MM



Commercial fruit and vegetable cassava washing machine made in China hair roller cleaning machine equipment

>=1 Sets
\$1,580.00

\$200.00 OFF Order more than \$10,000.00 [Get Coupon](#)

Benefits **Pro** US \$3,000 Coupons [Apply Now >](#)

Machinery Capa... 500-1800kg/hour

Lead Time:	Quantity(Sets)	1 - 1	>1
	Est. Time(days)	10	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
 Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)
 More [v](#)

Shipping: Support Sea freight



[Click here to expended view](#)

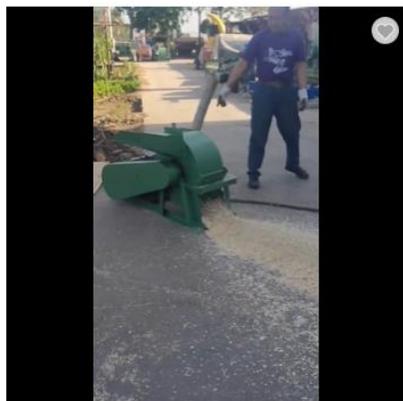
Quick Details

Condition:	New	Applicable Industries:	Hotels, Food & Beverage Factory, Food Shop
Showroom Location:	None	Video outgoing-inspection:	Provided
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	Hot sale
Core Components:	Motor, Pump	Warranty of core components:	1 Year
Brand Name:	MHZX	Model Number:	MH-GX
Voltage:	220V/380V, 220V/380V	Place of Origin:	Henan, China
Warranty:	1 Year	Weight:	450 KG
Machinery Function:	Fruit and vegetable cleaning	Application fields:	Snack food factory, Fruit processing plant, Cooking oil facto
Key Selling Points:	Brush roller	Raw material:	Vegetables
Model:	MH-GX	Brand:	MHZX
Power:	1.1kw-2.2kw	Capacity:	500-1800kg/hour
Usage:	potato ginger onion carrot	Material:	304 stainless steel
MOQ:	1set	Brush roll:	nylon
		After Warranty:	Video technical support

Provedor: Henan MHZX Machinery Co.,Ltd

8.4.3. Trituradora

Figura A-5. Especificaciones para una trituradora



Incredible Powerful Huge 450 kg Weight Wood Tree Branch Coconut Husk Crusher Machine Screen Of Wood Sawdust Crusher

[View More](#)

>=1 Sets
\$1,000.00

Model Number: 420 500 600 700 800 1000 1200

Lead Time:	Quantity(Sets)	1 - 6	>6
	Est. Time(days)	5	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
 Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)
 More [v](#)

Shipping: Support Sea freight



[Click here to expended view](#)

model	YH-420	YH-500	YH-600	YH-700	YH-800	YH-1000	YH-1200
Diameter of cutter head (mm)	400	450	550	650	750	950	1150
Number of blades (pieces)	4	4	4	4	4-8	4-8	4-8
Blade size (mm)	90*60*10	120*80*10	150*80*10	180*80*10	230*90*10	260*90*10	280*90*10
Number of hammers (pieces)	12	16	22	26	30	40	50
Inlet size (mm)	150*150	180*180	200*200	230*230	250*260	280*320	360*360
Speed (r/min)	650	650	680	650	650	600	550
Output (kg/h)	400-500	600-800	1000-1500	2000-2500	2500-3000	3000-4000	4000-5000
Motor (kw)	7.5-11	11-15	15-18.5	18.5-22	30-37	45-75	75-110
Diesel engine power (HP)	Single cylinder15	Single cylinder18	Single cylinder22	Single cylinder35	4100 (Supercharge)	4108 (Supercharge)	6105 (Supercharge)

Provedor: Henan Shunzhi Machinery Co.,Ltd

8.4.4. Molino de Bolas

Figura A-6. Especificaciones para un molino de bolas



View larger image

Add to Compare Share

Silica ceramic ball mill

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$2,000.00 - \$99,999.00 / Set | 1 Set/Sets (Min. Order)

Power:

Model Number:

Lead Time[?]:

Quantity(Sets)	1 - 30	>30
Est. Time(days)	30	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. Order: 1 Sets)
 Customized packaging (Min. Order: 1 Sets)
 More v

Shipping: Support Express · Sea freight · Land freight

Service: **1 Year** for machinery warranty | **1 Year** for Core Components ①

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Model	Rotary speed (r/min)	Balls load (t)	Feeding size (mm)	Discharging size(mm)	Capacity (t/h)	Motor power (kw)	Weight (t)
900×1800	36-38	1.5	≤20	0.075-0.89	0.65-2	18.5	4.6
900×3000	36	2.7	≤20	0.075-0.89	1.1-3.5	22	5.6
1200×2400	36	3	≤25	0.075-0.6	1.5-4.8	30	12
1200×3000	36	3.5	≤25	0.074-0.4	1.6-5	37	12.8
1200×4500	32.4	5	≤25	0.074-0.4	1.6-5.8	55	13.8
1500×3000	29.7	7.5	≤25	0.074-0.4	2-5	75	15.6
1500×4500	27	11	≤25	0.074-0.4	3-6	90	21
1500×5700	28	12	≤25	0.074-0.4	3.5-6	130	24.7
1830×3000	25.4	11	≤25	0.074-0.4	4-10	130	28
1830×4500	25.4	15	≤25	0.074-0.4	4.5-12	155	32
1830×6400	24.1	21	≤25	0.074-0.4	6.5-15	180	34
1830×7000	24.1	23	≤25	0.074-0.4	7.5-17	210	36
2100×3000	23.7	15	≤25	0.074-0.4	6.5-36	210	34
2100×4500	23.7	24	≤25	0.074-0.4	8-43	245	42

Proveedor: Henan Seasun Heavy Industry Machinery Co., Ltd.

8.4.5. Horno secador

Figura A-7. Especificaciones para un horno secador

Dehydrate 18kw Industrial Fruit
Oven Glass Container Dry Drying Machine

1 - 4 Sets **\$3,406.00**
5 - 99 Sets **\$3,350.00**

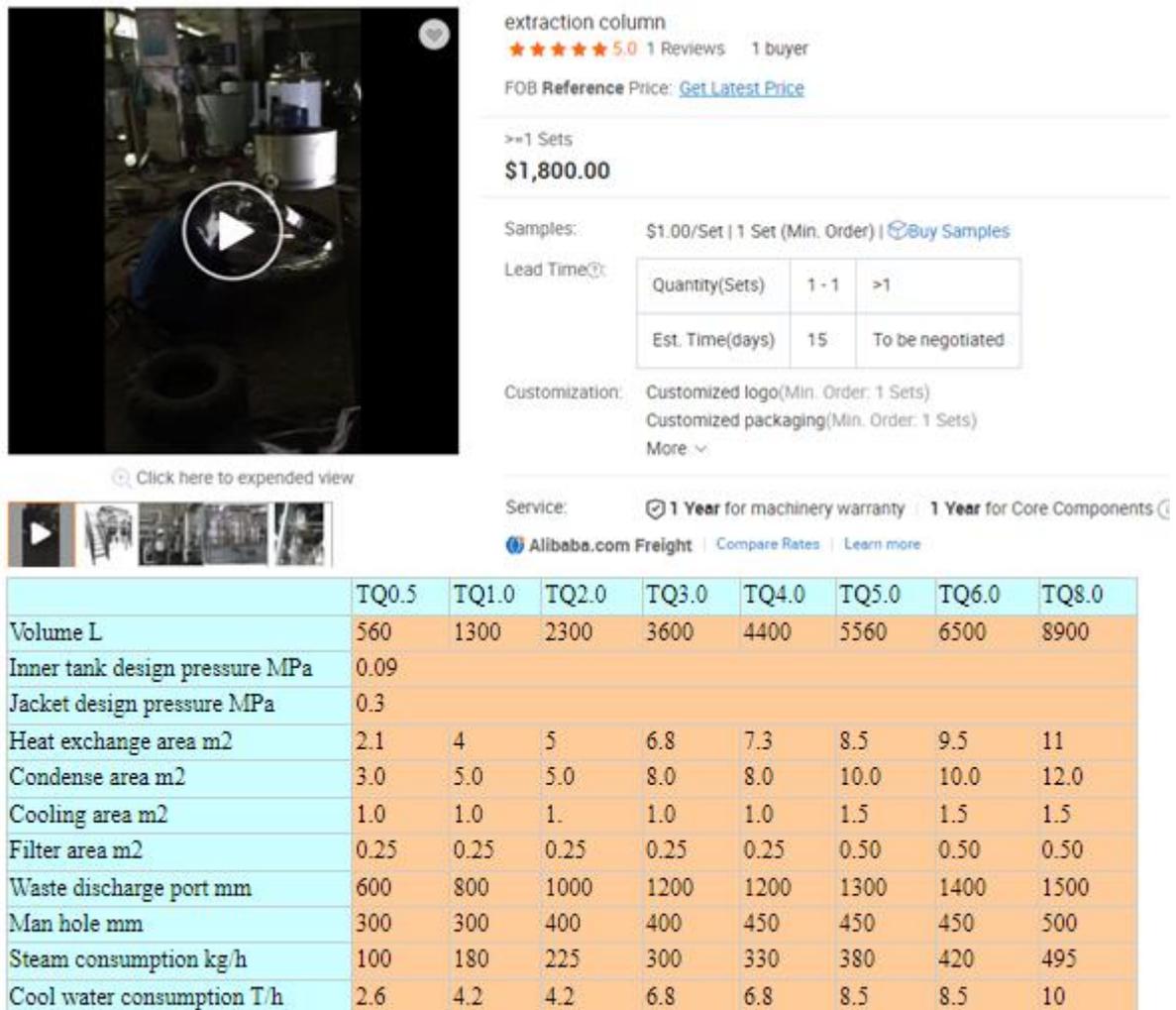


	HTKQ-5	HTKQ-6	HTKQ-10	HTKQ-12
POWER SUPPLY	380/3N/50HZ	380/3N/50HZ	380/3N/50HZ	380/3N/50HZ
RATED POWER	4.5	5.2	9.2	11.3
MAXIMUM INPUT POWER	8.5	10.8	18.5	22.5
AIR VOLUME	2800转/4	2800转/6	2800转/8	2800转/10
DEHUMIDIFIC	17.5	21	30	42
ATION CAPACITY APPLICABLE SPACE	10~20	15~25	20~35	35~45
USE ENVIRONMENT	-10~43	-10~43	-10~43	-10~43
AIR OUTLET TEMPERATURE	10~75	10~75	10~75	10~75
VOICE	<60	<60	<60	<60
CRYOGEN	R134A	R134A	R134A	R134A
DRYING CAPACITY (KG)	600-800	800-1000	1000-1500	1500-2100
DRYING ROOM SIZE(REFERENCE)	4*2.2*2.2	5*2.2*2.2	6*3*2.2	6*3.5*2.2
NUMBER OF CARTS	8	10	24	30

Proveedor: Shijiazhuang Hongtao Technology Co., Ltd.

8.4.6. Columna de extracción líquido líquido

Figura A-8. Especificaciones para una columna de extracción L-L



extraction column
 ★★★★★ 5.0 1 Reviews 1 buyer
 FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

>=1 Sets
\$1,800.00

Samples: \$1.00/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time:

Quantity(Sets)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
 Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)
 More ▾

Service: [1 Year for machinery warranty](#) | [1 Year for Core Components](#)

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

	TQ0.5	TQ1.0	TQ2.0	TQ3.0	TQ4.0	TQ5.0	TQ6.0	TQ8.0
Volume L	560	1300	2300	3600	4400	5560	6500	8900
Inner tank design pressure MPa	0.09							
Jacket design pressure MPa	0.3							
Heat exchange area m ²	2.1	4	5	6.8	7.3	8.5	9.5	11
Condense area m ²	3.0	5.0	5.0	8.0	8.0	10.0	10.0	12.0
Cooling area m ²	1.0	1.0	1.	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
Filter area m ²	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
Waste discharge port mm	600	800	1000	1200	1200	1300	1400	1500
Man hole mm	300	300	400	400	450	450	450	500
Steam consumption kg/h	100	180	225	300	330	380	420	495
Cool water consumption T/h	2.6	4.2	4.2	6.8	6.8	8.5	8.5	10

Proveedor: Ruian Xuanli Machinery Co., Ltd.

8.4.7. Tanque mezclador

Figura A-9. Especificaciones para un tanque mezclador



2000L industrial acidification batch stirred tank reactor
 FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$1,000.00 - \$20,000.00 / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Model Number: GSH-2000L

Lead Time(🕒):

Quantity(Sets)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	30	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)
 Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)

Specifications and Technical Parameters for 2000L industrial batch stirred acidification tank reactor	
Type	GSH-500~20,000L
Volume(L)	500~20,000L
Working pressure(MPa)	Negative pressure -0.1~9.8
Working temperature(°C)	-196~350
Stirring speed(r/min)	0~300
Motor power(KW)	3~45
Heating power(KW)	36~90
Heating type	Electric heating, far infrared heating, high frequency heating Water recycling, thermal oil or steam through jacket by constant temperature slot.
Charging type	Charging from above, discharging from bottom.
Shaft	Adopt self-lubricating wear-resistant sleeve, suitable for mixing various media.
Stirring type	Anchor-type, frame-type, blade-type, turbine-type, scraper-type or modular-type.
Seal type	Magnetic seal, mechanical seal, packing seal and gasket seal.

Provedor: Weihai Global Chemical Machinery Mfg Co., Ltd.

8.4.8. Centrifugadora

Figura A-10. Especificaciones para una centrifugadora



LWS horizontal screw industrial centrifuge tricanter / 3 phase oil decanter centrifuge
 FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$15,000.00 - \$35,000.00 / Unit | 1 Unit/Units(Min. Order)

Model Number: LWS355*1200 LWS355*1600 LWS420*1720
 LWS500 LWS530 LWS580 LWS620

Lead Time(🕒):

Quantity(Units)	1 - 10	>10
Est. Time(days)	60	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Units)
 Customized packaging(Min. Order: 1 Units)

[Click here to expended view](#)

Type	Bowl diameter(mm)	Bowl length/ Bowl diameter	Bowl speed (r/min)	Main Power(Kw)
LWS355	355	3.3-4.5	4000	15-18.5
LWS420	420	4.1	3600	22
LWS500	500	4.2	3000	30
LWS530	500	4.2	3000	30
LWS580	580	4.1	2800	45
LWS620	620	4	2800	45

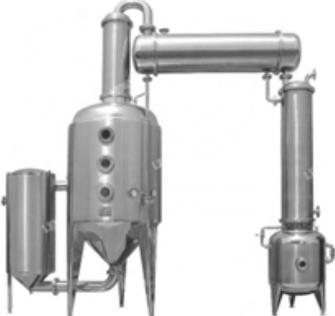
Proveedor: Nanjing FiveMen Machine Co., Ltd.

8.4.9. Evaporador

Figura A-11. Especificaciones para un evaporador

China manufacture stainless steel milk evaporator concentrator machine

1 - 4 Sets \$2,000.00 >=5 Sets \$1,980.00



China manufacture stainless steel milk evaporator concentrator machine	
Profile type	vacuum evaporator concentrator
Material	SS304 or SS316L
Capacity	0.1T/H-5T/H (Customized)
Heater type	Electric heating / Steam heating
The Working Temperature	40°C~80°C
The Working Pressure	-0.08Mpa
Power	0.55KW-30KW

Proveedor: Wenzhou Leno Machinery Co., Ltd.

8.4.10. Filtros de prensa

Figura A-12. Especificaciones para un filtro de prensa

Hydraulic Filter Press Frame Filter Press Plate Filter Press Machine For Gravel

\$600.00 - \$20,000.00 / Set



Model	XMZ30/870
Filter area	30m2
Plate size	870*870mm
Cake thickness	30mm
Chamber volume	460L
Plate No.	23pcs
Filtration pressure	0.6MPa
Motor power	2.2kw
Weight	3046kg
Dimension	3180*1200*1300mm

Provedor: Zhengzhou Gaode Equipment Co., Ltd.

8.4.11. Cintas transportadoras

Figura A-13. Especificaciones para una cinta transportadora



the low price machine of plastic mesh belt conveyor of food for tomato cak

>=1 Sets

\$358.00

Benefits



US \$3,000 Coupons Apply Now >

Type:

Bucket Conveyor

Gravity Conveyor

Screw conveyer

SLAT CONVEYOR

Vibrating Conveyor

Load Capacity:

Strong

Model Number:

LW

Quick Details

Applicable Industries: Hotels, Garment Shops, Building Material Shops, Machinery ...

Material: Plastic

Structure: Belt conveyor

Brand Name: leadworld

Power: 0.75KW

Warranty: 1 Year

Machinery Test Report: Provided

Marketing Type: New Product 2020

Core Components: Pressure vessel, Motor, Other, Bearing, Gear, Pump, Gearbox...

After-sales Service Provided: Engineers available to service machinery overseas, Field ins...

Product name: Assembly Line Equipment

Belt material: PVC

Motor: Shanghai Electric Appliance

Keyword: Conveyor Line

Showroom Location: None

Condition: New

Material Feature: Heat Resistant

Place of Origin: Shanghai, China

Voltage: Requirement

Dimension(L*W*H): Customer Request

Width or Diameter: 40mm

Video outgoing-inspection: Provided

Warranty of core components: 1 Year

Weight (KG): 500 kg

Application: Food

Color: White

Installation: Engineer's Guide

Feature: Easy Cleanliness

Frame Material: SUS304

After Warranty Service: Video technical support, Online support, Spare parts, Fiel

Provedor: Shanghai Leadworld Machinery Technology Co., Ltd.

8.4.12. Bombas centrífugas

Figura A-14. Especificaciones para una bomba centrífuga



GPS horizontal end suction coaxial water pump centrifugal pumps

CE [View More](#)

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$300.00 - \$2,000.00 / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Type:

Maximum Head:

Maximum Flow ...

Quick Details

Warranty: 1.5 years	Customized support: OEM, ODM, OBM
Brand Name: GSD	Model Number: GPS
Place of Origin: Zhejiang, China	Application: Drinking water treatment, Food and Beverage Industry,
Power Source: Electric	Pressure: Low Pressure
Structure: Single-stage Pump	Outlet Size: 25-300 mm
Voltage: 380/415/440/460, 380/400/415/440/460 V	Power: 0.37-90 kW, 0.37-90kW
Capacity: 2.0~864m3/h	Head: 5~132m
Diameter: 25~300mm	Material: FC200/SUS304/SUS316
Frequency: 50 /60 Hz	Certification: CE

Proveedor: Shanghai GSD Industrial Co., Ltd.

8.4.13. Tornillo sin fin

Figura A-15. Especificaciones para un tornillo sin fin

Stainless steel shaftless screw conveyor for sludge

\$100.00 - \$2,000.00 / Set



Model Item		GLS150	GLS200	GLS250	GLS300	GLS350	GLS400
Spirochete diameter(mm)		150	200	250	300	350	400
Display pipe diameter(mm)		165	219	273	325	377	426
Allow transmission Angle(α^*)	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60	0-60
	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30
	0-15	0-15	0-15	0-15	0-15	0-15	0-15
Maximum transmission lengths(m)	12	13	14	15	16	16	
	16	17	18	21	22	22	
	20	22	25	27	28	28	
Maximum transmission capacity(t/h)	30	48	80	110	140	180	
	22	30	50	70	100	130	
	15	20	35	50	60	80	
Input power(KW)	L<6m	2.2-7.5	3-11	4-15	5.5-18.5	7.5-22	11-30
	L=6~10m	3-11	5.5-15	7.5-18.5	11-22	11-30	15-37
	L>10m	5.5-15	7.5-18.5	11-22	15-30	18.5-37	22-45

Proveedor: Cangzhou Kuntai Machinery& Equipment Co., Ltd.

8.4.14. Caldera

Figura A-16. Especificaciones para una caldera



Best Price Industrial Boiler 18kw Electric Steam Generator

\$500.00 - \$1,100.00/ Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Model NO.	HT-SG18
Heating Power	18kw
Voltage	380V 50hz
Steam Pressure	0.4-0.7Mpa
Steam temperature	151°C
Output	25.8kg/h
Machine size	820*720*1360mm

Proveedor: Zhengzhou Hento Machinery Co., Ltd.

8.5.Anexo E: Cálculos del análisis económico

Tabla A-13. Costos teóricos de los equipos

Equipos	Unidad de tamaño	S	a	b	n	Costo teórico Ce	Nº equipos	Ce final
Tanque de almacenamiento 1	m3	185,11	5700	700	0,7	32758,20	1	32758,20
Balsa de lavado	Cotización					2212,00	1	2212,00
Trituradora	kg/h	1800	3000	390	0,5	19546,30	1	19546,30
Molino de bolas						2800,00	1	2800,00
Secador	m2	7,13	-5300	24000	0,5	58784,94	1	58784,94
Tanque de almacenamiento 2	m3	136,46	5700	700	0,7	27557,57	1	27557,57

TK pretratamiento	m3	11,14	5700	700	0,7	9483,71	1	9483,71
Filtro 1	m3	7,3	7600 0	5400 0	0,5	221899,9 7	1	221899,97
Tanque de Extr. LL	m3	2,95	5700	700	0,7	7192,70	1	7192,70
Balsa de lavado	Cotización					2212,00	1	2212,00
Filtro 2	m3	10,95	7600 0	5400 0	0,5	254690,2 3	1	254690,23
Mezclador Hidrólisis	m3	35,43	1400 0	1540 0	0,7	201102,9 0	1	201102,90
Filtro 3	m3	28,74	7600 0	5400 0	0,5	365492,3 8	1	365492,38
Biorreactor inóculo	m3	2,72	1400 0	1540 0	0,7	45025,51	1	45025,51
Biorreactor fermentación	m3	27,27	1400 0	1540 0	0,7	169775,9 2	1	169775,92
Centrífuga	kW	15	3700 0	1200	1,2	67937,89	1	67937,89
Tanque Precipitación	m3	0,43	5700	700	0,7	6087,73	1	6087,73
Filtro 4	m3	0,54	7600 0	5400 0	0,5	115681,7 3	1	115681,73
Mezclador Blanqueado	kW	12	4300	1920	0,8	18316,71	1	18316,71
Filtro 5	m3	0,42	7600 0	5400 0	0,5	110996,0 0	1	110996,00
Evaporador	m2	30	1700	1350 0	0,5 5	89349,70	1	89349,70
Tanque almacenamiento Producto	m3	0,28	5700	700	0,7	5987,15	1	5987,15
Caldera	kg/h vapor de agua	324,2 7	4600	62	0,8	10925,82	1	10925,82
Bomba 1	L/s	6,33	3300	48	1,2	3739,47	1	3739,47
Motor 1	kW	0,37	920	600	0,7	1219,15	1	1219,15
Bomba 2	L/s	0,63	3300	48	1,2	3327,57	1	3327,57
Motor 2	kW	4,07	920	600	0,7	2522,76	1	2522,76
Bomba 3	L/s	6,4	3300	48	1,2	3745,30	1	3745,30
Motor 3	kW	4,3	920	600	0,7	2585,63	1	2585,63
Cinta transportadora	m	4	2100 0	340	1	22360	7	156520,00
Tornillo sin fin	Cotización					140	11	1540,00
							Total	2021016,9

Tabla A-14. Cálculo de ISBL con método de Lang

COSTO TEÓRICO		COSTO REAL	
Equipo	Costo	Equipo	Costo
Tanque de almacenamiento 1	32758,20	Tanque de almacenamiento 1	240
Balsa de lavado	2212,00	Balsa de lavado	2212
Trituradora	19546,30	Trituradora	1400
Molino de bolas	2800,00	Molino de bolas	2800
Secador	58784,94	Secador	4790
Tanque de almacenamiento 2	27557,57	Tanque de almacenamiento 2	240
TK pretratamiento	9483,71	TK pretratamiento	240
Filtro 1	221899,97	Filtro 1	840
Tanque de Extr. LL	7192,70	Columna de Extr. LL	2520
Balsa de lavado	2212,00	Balsa de lavado	2212
Filtro 2	254690,23	Filtro 2	840
Mezclador Hidrólisis	201102,90	Mezclador Hidrólisis	2100
Filtro 3	365492,38	Filtro 3	840
Biorreactor inóculo	45025,51	Biorreactor inóculo	1400
Biorreactor fermentación	169775,92	Biorreactor fermentación	2100
Centrífuga	67937,89	Centrífuga	21000
Tanque Precipitación	6087,73	Tanque Precipitación	280
Filtro 4	115681,73	Filtro 4	840
Reactor Blanqueado	18316,71	Reactor Blanqueado	1400
Filtro 5	110996,00	Filtro 5	840
Evaporador	89349,70	Evaporador	2800
Tanque almacenamiento AL	5987,15	Tanque almacenamiento AL	240
Caldera	10925,82	Caldera	700
Bomba 1	3739,47	Bomba 1	140
Motor 1	1219,15	Motor 1	
Bomba 2	3327,57	Bomba 2	140
Motor 2	2522,76	Motor 2	
Bomba 3	3745,30	Bomba 3	140
Motor 3	2585,63	Motor 3	
Cinta transportadora	156520	Cinta transportadora	3007,2
Tornillo sin fin	1540	Tornillo sin fin	1540
Ce sólidos	918498,48	Ce sólidos	44067,6
Ce mixto	5616183,1	Ce mixto	70128
Ce fluidos	1554025,2	Ce fluidos	128100
Ce TOTAL	8088706,8	Ce TOTAL	242295,6

Tabla A-15. Cálculo de ISBL con método de Hand

Equipos	COSTO TEÓRICO				COSTO REAL			
	Costo	fm	Factor Hand	Costo final	Costo	fm	Factor Hand	Costo final
Tanque de almacenamiento 1	32758,20	1,3	4	170342,66	240	1,3	4	1248
Balsa de lavado	2212,00	1	2,5	5530,00	2212	1	2,5	5530
Trituradora	19546,30	1	2,5	48865,75	1400	1	2,5	3500
Molino de bolas	2800,00	1,3	2,5	9100,00	2800	1,3	2,5	9100
Secador	58784,94	1,3	2,5	191051,07	4790	1,3	2,5	15567,5
Tanque de almacenamiento 2	27557,57	1,3	4	143299,34	240	1,3	4	1248
TK pretratamiento	9483,71	1,3	4	49315,28	240	1,3	4	1248
Filtro 1	221899,97	1,3	2,5	721174,89	840	1,3	2,5	2730
Columna de Extr. LL	7192,70	1,3	4	37402,06	2520	1,3	4	13104
Balsa de lavado	2212,00	1	2,5	5530,00	2212	1	2,5	5530
Filtro 2	254690,23	1,3	2,5	827743,26	840	1,3	2,5	2730
Mezclador Hidrólisis	201102,90	1,3	4	1045735,10	2100	1,3	4	10920
Filtro 3	365492,38	1,3	2,5	1187850,25	840	1,3	2,5	2730
Biorreactor inóculo	45025,51	1,3	4	234132,66	1400	1,3	4	7280
Biorreactor fermentación	169775,92	1,3	4	882834,77	2100	1,3	4	10920
Centrífuga	67937,89	1,3	2,5	220798,16	21000	1,3	2,5	68250
Tanque Precipitación	6087,73	1,3	4	31656,18	280	1,3	4	1456
Filtro 4	115681,73	1,3	2,5	375965,63	840	1,3	2,5	2730
Reactor Blanqueado	18316,71	1,3	4	95246,92	1400	1,3	4	7280
Filtro 5	110996,00	1,3	2,5	360737,00	840	1,3	2,5	2730
Evaporador	89349,70	1,3	4	464618,47	2800	1,3	4	14560
Tanque almacenamiento Producto	5987,15	1,3	4	31133,18	240	1,3	4	1248
Caldera	10925,82	1,3	4	56814,28	700	1,3	4	3640
Bomba 1	3739,47	1,3	4	19445,23	140	1,3	4	728
Motor 1	1219,15	1	4	4876,61				0
Bomba 2	3327,57	1,3	4	17303,37	140	1,3	4	728
Motor 2	2522,76	1	4	10091,02				0
Bomba 3	3745,30	1,3	4	19475,58	140	1,3	4	728
Motor 3	2585,63	1	4	10342,53		1,3		0

Cinta transportadora	156520	1	2,5	391300	3007,2		2,5	0	
Tornillo sin fin	1540	1,3	2,5	5005	1540	1,3	2,5	5005	
TOTAL				7674716,24				TOTAL	202468,5

Tabla A-16. Cálculo de ISBL con Método Factorial Detallado

Equipo	COSTO TEÓRICO		COSTO REAL	
	Ce acero inox.	Ce sin acero inox.	Ce acero inox.	Ce sin acero inox.
Tanque de almacenamiento 1	32758,20		240	
Balsa de lavado		2212,00		2212
Trituradora		19546,30		1400
Molino de bolas	2800,00		2800	
Secador	58784,94		4790	
Tanque de almacenamiento 2	27557,57		240	
TK pretratamiento	9483,71		240	
Filtro 1	221899,97		840	
Tanque de Extr. LL	7192,70		2520	
Balsa de lavado		2212,00		2212
Filtro 2	254690,23		840	
Mezclador Hidrólisis	201102,90		2100	
Filtro 3	365492,38		840	
Biorreactor inóculo	45025,51		1400	
Biorreactor fermentación	169775,92		2100	
Centrífuga	67937,89		21000	
Tanque Precipitación	6087,73		280	
Filtro 4	115681,73		840	
Reactor Blanqueado	18316,71		1400	
Filtro 5	110996,00		840	
Evaporador	89349,70		2800	
Tanque almacenamiento AL	5987,15		240	
Caldera	10925,82		700	
Bomba 1	3739,47		140	
Motor 1		1219,15	0	
Bomba 2	3327,57		140	
Motor 2		2522,76	0	
Bomba 3	3745,30		140	
Motor 3		2585,63	0	
Cinta transportadora		156520,00	3007,2	

Tornillo sin fin	1540,00		1540	
Suma Ce sólidos	127887,86	21758,30	11317,2	3612
Suma Ce mixto	1401833,78	2212,00	15080	2212
Suma Ce fluido	304477,49	6327,54	25620	0
Costo sólidos	365759,29	54395,75	32367,19	9030
Costo mixto	5158748,31	4485868,09	55494,4	48256
Costo fluido	1138745,81	974327,97	95818,8	81984
Sumatoria	6663253,41	5514591,81	183680,39	139270
TOTAL	12177845,21		322950,39	

Tabla A-17. Cálculo de la inversión de capital fijo

ISBL	\$255.904,83
OSBL	\$102.361,93
Costos de ingeniería	\$ 35.826,68
Gastos e imprevistos	\$ 35.826,68
Capital Fijo	\$429.920,12

Tabla A-18. Costos de producción variables

Materia Prima	Cantida d por mes	Unidades	Costo (USD)		kW por mes		Precio mes
Cáscara de cacao	33523	kg	167,62		13053,21843	43,51072809	\$ 455,56
Hidróxido de Sodio	1245,9	kg	401,18				
Celulasa industrial	1,68	kg	2,352		CONSUMO DE AGUA	m3 por mes	Precio por mes
Butanol	2652,5	kg	1448,27		Lavadora 1	62,855	30,170
Citrato de sodio (R.oryzae)	3013 7,88	kg	2109,10 33,10		Lavadora 2	79,336	38,081
Carbonato de Calcio	1971,8	kg	276,05		SLN de NaOH	40,286	19,337
Ácido sulfúrico	1299,3	kg	236,47		SLN de citrato Na	233,537	112,098
Carbon activado	580,81	kg	325,25			TOTAL	199,687
(NH4)2SO4	78,87	kg	8,833		Precio por m3	0,48	
MgSO4(7H2O)	9,85	kg	0,6895		TRANSPORTE		Precio mes
ZnSO4	1,58	kg	0,8848		Precio por km*ton	0,005	15,42058
KH2PO4	7,89	kg	8,837		Ton de CPH	33,523	
TOTAL			5018,63		Km	92	
					TOTAL COSTOS VARIABLES		\$ 5.689,30

Tabla A-19. Costos de producción fijos

Ítem	Costo total por mes
Labor de operación	2250

Supervisión	562,5
Gastos salariales directos	1125
Mantenimiento	7677,14
Impuestos	2559,05
Alquiler de tierra	3582,67
Gastos generales	7549,52
Gastos medioambientales	3582,67
TOTAL	28888,55

Tabla A-20. Capital de Trabajo

Ítem	Valor
Inventario de materia prima	2509,31527
Inventario productos y subproductos	17288,92143
Efectivo en caja	8644,460717
Cuanta a cobrar	34577,84
Créditos cuentas pendientes	5018,63
Inventario repuestos	3582,667629
TOTAL	71621,83846

Tabla A-21. Cálculo del flujo de caja

Año	Beneficio bruto [MM\$]	Cargas de depreciación Di [MM\$]	Ingresos gravables [MM\$]	Impuestos pagados [MM\$]	Flujo de caja [MM\$]	Flujo caja acumulativo [MM\$]
0	0	0	0	0	-501541,954	-501541,954
1	207467,0572	50154,1954	157312,8618	0	207467,0572	-
2	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	-105485,383
3	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	83104,13079
4	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	271693,6446
5	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	460283,1584
6	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	648872,6721
7	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	837462,1859
8	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	1026051,7
9	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	1214641,214
10	207467,0572	50154,1954	157312,8618	18877,54342	188589,5138	1403230,727
11	190893,6177	50154,1954	140739,4223	18877,54342	172016,0742	1575246,802
12	190893,6177	50154,1954	140739,4223	16888,73067	174004,887	1749251,689
13	190893,6177	50154,1954	140739,4223	16888,73067	174004,887	1923256,575
14	190893,6177	50154,1954	140739,4223	16888,73067	174004,887	2097261,462
15	190893,6177	50154,1954	140739,4223	16888,73067	174004,887	2271266,349

Tabla A-22. Análisis de rentabilidad del proyecto

Ítem	Cantidad
Costo de producción de 1kg de ácido láctico	\$ 13,83
Precio de venta del producto (50% de margen de ganancia)	\$ 20,75
Ventas anuales	\$ 622.401,17
Margen de producción bruto	\$ 562.177,61
Beneficio bruto	\$ 207.467,06
Beneficio neto	\$ 182.571,01
Tiempo de recuperación [años]	2,74
VAN	1583969,72
TIR	32%

8.6. Anexo F: Fichas de seguridad de las materias primas

Figura A-17. Ficha de seguridad del Hidróxido de Sodio (39)

Safety data sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), amended by 2015/830/EU



Sodium hydroxide ≥99 %

article number: 9356
Version: 4.1 en
Replaces version of: 19.11.2018
Version: (4)

date of compilation: 02.06.2015
Revision: 03.07.2020

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Identification of the substance	Sodium hydroxide
Article number	9356
Registration number (REACH)	01-2119457892-27-xxxx
Index No	011-002-00-6
EC number	215-185-5
CAS number	1310-73-2

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses:	laboratory chemical laboratory and analytical use
------------------	------------------------------------------------------

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)

Classification acc. to GHS			
Section	Hazard class	Hazard class and category	Hazard statement
2.16	substance or mixture corrosive to metals	(Met. Corr. 1)	H290
3.2	skin corrosion/irritation	(Skin Corr. 1A)	H314
3.3	serious eye damage/eye irritation	(Eye Dam. 1)	H318

Figura A-18. Ficha de seguridad de la Celulasa (40)

Section 1. Identification		
GHS product identifier	: Cellulase, Source: Aspergillus niger	
Code	: 13285	
Other means of identification	: Cellulase, aspergillus niger; Cellulase, trichoderma viride; Fungal cellulase; .beta.-1, 4-Glucan glucanhydrolase; Cellulase, trichoderma reesei	
Supplier/Manufacturer	: 3420 Central Expressway, Santa Clara CA 95051	
In case of emergency	: Chemtrec: 1 800 424 9300 Outside USA & Canada: +1 703 527 3887	
Section 2. Hazards identification		
OSHA/HCS status	: This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).	
Classification of the substance or mixture	: RESPIRATORY SENSITIZATION - Category 1	
GHS label elements		
Hazard pictograms	: 	
Signal word	: Danger	
Hazard statements	: May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled.	
Precautionary statements		
Prevention	: In case of inadequate ventilation wear respiratory protection. Avoid breathing dust.	
Response	: IF INHALED: If breathing is difficult, remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If experiencing respiratory symptoms: Call a POISON CENTER or physician.	
Storage	: Not applicable.	
Disposal	: Dispose of contents and container in accordance with all local, regional, national and international regulations.	
Section 3. Composition/information on ingredients		
Substance/mixture	: Substance	
Ingredient name	%	CAS number
cellulase	99.99 - 100	9012-54-8

Figura A-19. Ficha de seguridad del 1-Butanol (41)

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking	
1.1 Product identifier	
Identification of the substance	1-Butanol ROTISOLV® ≥99,8 %, UV/IR-Grade
Article number	4431
Registration number (REACH)	01-2119484630-38-xxxx
Index number in CLP Annex VI	603-004-00-6
EC number	200-751-6
CAS number	71-36-3
1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against	
Relevant identified uses:	Laboratory chemical Laboratory and analytical use
Uses advised against:	Do not use for products which come into contact with foodstuffs. Do not use for private purposes (household).

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)

Section	Hazard class	Cat-egory	Hazard class and category	Hazard statement
2.6	Flammable liquid	3	Flam. Liq. 3	H226
3.10	Acute toxicity (oral)	4	Acute Tox. 4	H302
3.2	Skin corrosion/irritation	2	Skin Irrit. 2	H315
3.3	Serious eye damage/eye irritation	1	Eye Dam. 1	H318
3.8R	Specific target organ toxicity - single exposure (respiratory tract irritation)	3	STOT SE 3	H335
3.8D	Specific target organ toxicity - single exposure (narcotic effects, drowsiness)	3	STOT SE 3	H336

Figura A-20. Ficha de seguridad del Citrato de Sodio (42)

SECTION 1 : Identification of the substance/mixture and of the supplier
Product name : Sodium Citrate, Lab Grade

Manufacturer/Supplier Trade name:
Manufacturer/Supplier Article number: S25545
Recommended uses of the product and uses restrictions on use:
Manufacturer Details:

AquaPhoenix Scientific
9 Barnhart Drive, Hanover, PA 17331

SECTION 2 : Hazards identification
Classification of the substance or mixture:

Not classified for physical or health hazards under GHS.

Hazard statements:

Causes serious eye irritation

Precautionary statements:

If medical advice is needed, have product container or label at hand

Keep out of reach of children

Read label before use

Do not eat, drink or smoke when using this product

Combustible Dust Hazard: :

May form combustible dust concentrations in air (during processing).

Other Non-GHS Classification:
**WHMIS
NFPA/HMIS**


NFPA SCALE (0-4)

Health	1
Flammability	0
Physical Hazard	0
Personal Protection	X

HMIS RATINGS (0-4)

Figura A-21. Ficha de seguridad del *Rhizopus oryzae* (43)**1. Product Identification:**

Product Name:	<i>Rhizopus oryzae</i> Z106, DNA (1 µg)
Catalog Number:	0801834DNA-1UG
Product ID Number (CAS #):	Not Applicable.
Intended use of the product:	For research or further manufacturing only. Not for use in diagnostic procedures.
Manufacturer:	ZeptoMetrix LLC 878 Main Street
Address:	Buffalo, New York 14202 United States of America
Telephone:	ZeptoMetrix: (716) 882-0920 or 1 (800) 274-5487 (US Toll Free)

2. Hazard(s) Identification:

Classification:	This product is not considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).
Hazard Pictograms	None.
Signal word:	None.
Hazard statements:	None.
Precautionary statement:	None. POTENTIAL BIOHAZARD.
Other hazards:	May present unknown hazards and should be handled as if capable of transmitting infectious agents. Use universal precautions with proper personal protective equipment, proper engineering controls and use within the parameters of the purchaser's safety program.
Unknown acute toxicity:	No information available.

Figura A-22. Ficha de seguridad del Carbonato de Calcio (44)

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking**1.1 Product identifier**

Identification of the substance	Calcium carbonate
Article number	P013
Registration number (REACH)	01-2119486795-18-xxxx
EC number	207-439-9
CAS number	471-34-1

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses: laboratory chemical

SECTION 2: Hazards identification**2.1 Classification of the substance or mixture****Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)**

This substance does not meet the criteria for classification in accordance with Regulation No 1272/2008/EC.

2.2 Label elements**Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)**

not required

Figura A-23. Ficha de seguridad del Ácido Sulfúrico (45)

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking	
1.1 Product identifier	
Identification of the substance	Sulphuric acid ROTIPURAN® 96 %, p.a., ISO
Article number	4623
Registration number (REACH)	01-2119458838-20-xxxx
Index number in CLP Annex VI	016-020-00-8
EC number	231-639-5
CAS number	7664-93-9
1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against	
Relevant identified uses:	Laboratory chemical Laboratory and analytical use
Uses advised against:	Do not use for squirting or spraying. Do not use for products which come into direct contact with the skin. Do not use for products which come into contact with foodstuffs. Do not use for private purposes (household).

SECTION 2: Hazards identification				
2.1 Classification of the substance or mixture				
Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)				
Section	Hazard class	Cat-egory	Hazard class and category	Hazard statement
2.16	Substance or mixture corrosive to metals	1	Met. Corr. 1	H290
3.2	Skin corrosion/irritation	1A	Skin Corr. 1A	H314
3.3	Serious eye damage/eye irritation	1	Eye Dam. 1	H318

For full text of abbreviations: see SECTION 16

The most important adverse physicochemical, human health and environmental effects

Skin corrosion produces an irreversible damage to the skin; namely, visible necrosis through the epidermis and into the dermis.

Figura A-24. Ficha de seguridad del Carbón Activado (46)

SECTION 1 : Identification of the substance/mixture and of the supplier	
Product name :	Charcoal, Activated Carbon
Manufacturer/Supplier Trade name:	
Manufacturer/Supplier Article number:	S25246
Recommended uses of the product and uses restrictions on use:	
Manufacturer Details:	
	AquaPhoenix Scientific 9 Barnhart Drive, Hanover, PA 17331
SECTION 2 : Hazards identification	
Classification of the substance or mixture:	
	Irritant Eye irritation, category 2A Specific target organ toxicity following single exposure, category 3
	Flammable Flammable solids, category 1

Figura A-25. Ficha de seguridad del Sulfato de Amonio (47)

Section 1: SUBSTANCE IDENTIFICATION AND SUPPLIER	
Product Name:	Ammonium Sulphate
Other Names:	GAS, SAS, Ammonium sulfate, Sulphuric acid diammonium salt, Sulphate of ammonia
Product Code:	4000000, 4090000
Chemical Formula:	(NH ₄) ₂ SO ₄
Recommended Use:	Fertiliser
Restrictions of Use:	Refer to Section 15
Company Identification:	Ravensdown Limited
Section 2: HAZARD IDENTIFICATION	
This substance is hazardous according to the EPA Hazardous Substances (Classification) Notice 2017	
EPA Approval No:	Fertilisers (subsidiary) – HSR002571 HSR002770 - Ammonium Sulphate
Pictograms:	
Signal Word:	Warning

Figura A-26. Ficha de seguridad del Sulfato de Magnesio heptahidratado (48)

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking	
1.1 Product identifier	
Identification of the substance	Magnesium sulphate heptahydrate ≥99 %, p.a., ACS
Article number	P027
Registration number (REACH)	The substance does not require registration according to Regulation (EC) No 1907/2006 [REACH]
EC number	231-298-2
CAS number	10034-99-8
1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against	
Identified uses:	laboratory chemical laboratory and analytical use
SECTION 2: Hazards identification	
2.1 Classification of the substance or mixture	
Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)	
This substance does not meet the criteria for classification in accordance with Regulation No 1272/2008/EC.	

Figura A-27. Ficha de seguridad del Sulfato de Zinc heptahidratado (49)

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking	
1.1 Product identifier	
Identification of the substance	Zinc sulphate heptahydrate ≥97 %, extra pure
Article number	7316
Registration number (REACH)	01-2119474684-27-xxxx
Index number in CLP Annex VI	030-006-00-9
EC number	231-793-3
CAS number	7446-20-0
1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against	
Relevant identified uses:	Laboratory chemical Laboratory and analytical use
Uses advised against:	Do not use for products which come into contact with foodstuffs. Do not use for private purposes (household).

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP)

Section	Hazard class	Cat-egory	Hazard class and category	Hazard statement
3.1O	Acute toxicity (oral)	4	Acute Tox. 4	H302
3.3	Serious eye damage/eye irritation	1	Eye Dam. 1	H318
4.1A	Hazardous to the aquatic environment - acute hazard	1	Aquatic Acute 1	H400
4.1C	Hazardous to the aquatic environment - chronic hazard	1	Aquatic Chronic 1	H410

For full text of abbreviations: see SECTION 16

The most important adverse physicochemical, human health and environmental effects

Spillage and fire water can cause pollution of watercourses.

Figura A-28. Ficha de seguridad del Fosfato Monopotásico (50)

SECTION 1: Identification**1.1. Identification**

Product form : Substance
 Substance name : Potassium Phosphate, Monobasic
 CAS-No. : 7778-77-0
 Product code : LC20095
 Formula : KH₂PO₄

1.2. Recommended use and restrictions on use

Use of the substance/mixture : For laboratory and manufacturing use only.
 Recommended use : Laboratory chemicals
 Restrictions on use : Not for food, drug or household use

SECTION 2: Hazard(s) identification**2.1. Classification of the substance or mixture****GHS-US classification**

Not classified

2.2. GHS Label elements, including precautionary statements

Not classified as a hazardous chemical.

Other hazards not contributing to the classification : None.